

N° d'ordre..... الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
Département des Sciences de l'Environnement

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES

Présentée par :

Mr : ACHIR MOHAMMED

*Spécialité : Sciences de L'Environnement
Option : Agro pastoralisme et désertification*

Intitulée

Etude de l'impact des changements climatiques sur la dynamique de l'alfa (Stipa tenacissima L.) dans la région steppique de Tiaret (Algérie occidentale).

Soutenue le/...../..2016

Devant l'honorable jury composé de :

Président de jury : Dr BOUZIDI Mohamed Ali..... (M.C. A, UDL/SBA)

Examinatrices : Dr BOUCHENAFI Nadia..... (M.C.A, Univ. Tiaret)

Dr REZZOUG Wafaa Oum El Kheir (M.C.A, Univ. Tiaret)

Dr CHERIFI Kouider (M.C.A, UDL/SBA)

Directeur de thèse : Pr HELLAL Benchaben..... (Professeur, Univ. Tiaret)

Année universitaire 2015 – 2016

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer mes remerciements les plus sincères au Professeur HELLAL.B. Mon promoteur de thèse, pour m'avoir conseillé, encouragé et soutenu tout au long de la thèse avec patience et disponibilité et pour la confiance qu'il m'a accordé. J'ai beaucoup appris à ces côtés et je lui exprime toute ma gratitude.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au Docteur BOUZIDI.A qui m'a fait l'honneur de présider le jury de thèse de doctorat.

Je remercie le Docteur REZZOUG ; W, le Docteur BOUCHENAFAN et le Docteur CHERIFI.K pour avoir accepté d'être membre de jury de cette thèse. Je les remercie pour les remarques, conseils et critiques constructives.

J'ai bénéficié également du soutien et de l'aide du Docteur TAIBI. K que je remercie vivement.

Je remercie enfin mes parents, ma petite famille, mes frères, ma sœur, mes amis et tous mes proches, qui m'ont toujours encouragé.

ملخص

لقد أصبح تغير المناخ أكثر إلزاماً بالموازاة مع ارتفاع متوسط درجات الحرارة وتغير أنماط سقوط الأمطار مما تسبب في تغيرات جذرية على البيئية وخاصة على البيئات الهشة. تشهد سهوب الحلفاء أيضاً تغييرات خطيرة خلال العقود الأخيرة مما أدى إلى تدهورها.

وتهدف هذه الدراسة لربط العلاقة بين تغير المناخ بالتوازي مع تطور سهوب الحلفاء في المنطقة الجنوبية من تيارت.

تمت دراسة التغير المناخي من خلال تحليل السلاسل الزمنية لدرجة الحرارة وهطول الأمطار ثم بوضع مؤشرات مناخية مرتبطة لتسليط الضوء على آخر التطورات على حدة الجفاف في المنطقة. وتمت دراسة ديناميكية سهوب الحلفاء من خلال دراسة خرائط وإحصاءات مرتبطة بها خلال فترتين مختلفتين.

أظهر تحليل تقلب المناخ وجود العديد من فترات الجفاف في المنطقة تميزت بانخفاض هطول الأمطار وارتفاع درجات الحرارة. ومع ذلك، فإن النتائج تشير إلى العودة إلى فترة رطبة ملحوظة. حددت مؤشرات المناخ فترات من الجفاف ممتدة من عام 1984 حتى عام 2002.

المتغيرات المناخية ومؤشرات المناخ كانت مرتبطة إلى حد كبير مع تطور سهوب الحلفاء في المنطقة المتواجدة في مجال هطول اثر من 200 ملم من الأمطار في السنة، وهو من حيث المبدأ مواتي لنموها.

دراسة تطور سهوب الحلفاء يكشف عن ديناميكية مثيرة للاهتمام تؤكد تراجع في بيئة سهوب الحلفاء. وقد أظهرت الملاحظات في القرن الماضي ان أكثر من 70% من قد سهوب الحلفاء اختفت لتمثل حالياً 10% فقط من المساحة الإجمالية للسهوب. بالإضافة إلى ذلك، تتواجد سهوب الحلفاء الموجودة في حالة جيدة في المناطق الجبلية مع انخفاض ملحوظ جدا في توزيعها في السهول اللتي تخضع لتأثير الإنسان وانجراف التربة.

كلمات البحث

تغير المناخ، السهوب، الحلفاء، ديناميكية ، تيارت.

Résumé

Les changements climatiques sont devenus plus contraignants bien que l'élévation des températures moyennes et le changement des régimes de précipitations provoquent des modifications drastiques du contexte écologique notamment pour les milieux fragiles. Toutefois, les steppes à Alfa (*Stipa tenacissima* L.) connaissent également de sérieuses modifications durant les dernières décennies aboutissant à leur dégradation.

La présente étude a pour but de mettre en relation la variabilité du climat parallèlement avec l'évolution des nappes alfatières dans la région Sud de Tiaret dans le contexte du changement climatique.

La variabilité du climat a été déterminée par l'analyse des séries chronologiques de températures et de précipitations puis par l'élaboration des indices bioclimatiques associés mettant en exergue le point sur l'ampleur de l'aridité et la sécheresse dans la région. Cependant, l'analyse de la dynamique des nappes alfatières a été appréhendée à travers une étude diachronique des cartes d'occupation d'alfa et des statistiques associées.

L'analyse de la variabilité du climat a montré la présence de plusieurs séquences sèches dans la région marquées par la diminution des précipitations et l'augmentation de la température. Cependant, la tendance observée durant la dernière décennie indique le retour vers une période humide très marquée. Les indices bio-climatologiques ont permis de déceler le caractère sévère et durable de la sécheresse climatique observée à partir de l'an 1984 jusqu'à 2002.

Les variables du climat et les indices bioclimatiques dérivés ont été fortement corrélées avec l'évolution des nappes alfatières dans la région. Avantagement, l'aire de répartition de l'alfa se trouve sous l'influence d'un régime de précipitations supérieur à 200 mm par an ce qui est en principe favorable à son développement.

L'étude de l'évolution des nappes alfatières révèle une dynamique spatiale intéressante et confirment l'évolution régressive de leur environnement. Les observations ont montré qu'au siècle dernier, plus de 70% des nappes alfatières ont disparu. Ainsi, les surfaces alfatières ne représentent actuellement que 10% de toute la superficie de la steppe. En plus, les nappes alfatières estimées en bon état se trouvent généralement dans les unités géomorphologiques montagnardes quoiqu'une diminution très marquée de leur répartition est observée dans les plaines sujettes à l'anthropisation et à l'ensablement.

Mots clés :

Changement climatique, steppe, *Stipa tenacissima* L., dynamique, Tiaret.

Abstract

Climate change has become more violent although the rise in average temperatures and the alteration of rainfall patterns cause drastic changes in the ecological context especially in fragile environments. Nevertheless, Alfa steppes (*Stipa tenacissima*) experienced serious changes during the last decades which led to their degradation.

The present study aims to correlate the climate variability along with the evolution of Alfa grass in the southern region of Tiaret in the context of climate change.

Climate variability was determined by analyzing temperature and precipitation time series then by the development of associated bioclimatic indices highlighting aridity and drought in the region. However, analysis of the dynamics of Alfa was apprehended through a diachronic study of Alfa occupation cards and associated statistics.

The analysis of climate variability showed the presence of several dry spells in the region marked by the rainfall decrease and increase in temperatures. However, the observed trend over the last decades indicates a return to a marked wet period. The bio-climatic indices have identified the severe and lasting drought observed from the year 1984 until 2002.

Climate variables and their derived bioclimatic indices were highly correlated with the evolution of Alfa grass in the area. Advantageously, the Alfa's range is subjected to the influence of a rainfall regime higher than 200 mm per year, which is in principle favourable to its development.

The study of the evolution of Alfa grass reveals an interesting spatial dynamics and confirms the regressive changes in their environment. Observations have shown that in the last century, more than 70% of Alfa grass disappeared. Thus, Alfa surfaces currently account only for 10% of the total steppe area. In addition, Alfa grass estimated in good condition is usually found in mountainous geomorphic units although a very marked decrease in their distribution is observed in the plains subject to human impact and desertification.

Keywords

Climate change, steppe, *Stipa tenacissima*, dynamic, Tiaret.

Liste des figures

Figure 1. Evolution des terres alfatières (ONS 2015).....	3
Figure 2. Carte de sensibilité à la désertification de la wilaya de Tiaret (CNTS 2010).....	4
Figure 3. Évolution de la température globale depuis 1850 (GIEC 2007).....	8
Figure 4. Réchauffement de l'atmosphère et de la surface de la terre (Taureau 2015).....	9
Figure 5. Emissions mondiales de gaz à effet de serre (GIEC 2007).....	10
Figure 6. Evolution attendue de la température selon les scénarios RCP (GIEC 2013).....	11
Figure 7. Evolution attendue de la température et des précipitations dans la région méditerranéenne à l'horizon 2100 selon le scénario du « GIEC » (GIEC 2007).....	12
Figure 8. Pluviométrie annuelle dans la région d'El Bayadh (1857-2005) (Aïdoud et al. 2011).....	13
Figure 9. Changement du couvert végétal des espèces pérennes et éphémères dans la steppe d'Alfa (Aïdoud et al. 2011).....	14
Figure 10. Température moyenne annuelle sur le Nord de l'Algérie durant la période 1950-2005 (ONM 2009).....	15
Figure 11. Cumuls pluviométriques annuels d'une station du Sud algérois et d'une station du Sud oranais (Hireche et al. 2007).....	17
Figure 12. Spatiocarte de la zone steppique algérienne (Asal 2013).....	18
Figure 13. Limites naturelles de la steppe algérienne (Le Houerou et al. 1977).....	19
Figure 14. Carte d'occupation des terres de la steppe algérienne (HCDS 2010).....	22
Figure 15. Evolution des terres alfatières (ONS 2015).....	25
Figure 16. Labours illicites dans une terre alfatière (HCDS 2014).....	28
Figure 17. Localisation de la région d'étude.....	30
Figure 18. Carte géologique de la région de Tiaret (URBATIA 2010).....	32
Figure 19. Carte lithologique de la région de Tiaret (INCT 2008).....	33
Figure 20. Etages bioclimatiques de l'Algérie (ANAT 2004).....	35
Figure 21. Carte pluviométrique de la wilaya de Tiaret (période 1986-2006)	36
Figure 22. Diagramme Ombrothermique de la partie Nord de la région d'étude.....	37
Figure 23. Diagramme Ombrothermique de la partie Sud de la région d'étude.....	37
Figure 24. Carte de l'occupation des sols de région des hauts plateaux Ouest.....	39
Figure 25. Evolution des précipitations annuelles dans la région d'étude.....	45
Figure 26. Evolution des températures maximales dans la région d'étude.....	46
Figure 27. Evolution des températures minimales dans la région d'étude.....	47
Figure 28. Evolution des températures moyennes annuelles dans la région d'étude.....	48

Figure 29. Indice de Précipitations Standardisé (SPI) durant la période 1984-2015.....	49
Figure 30. Indice de Déficit Pluviométrique (IDP %) durant la période 1984-2015.....	50
Figure 31. Indice de Déficit Pluviométrique (IDP %) durant la période 1984-2015.....	51
Figure 32. Indice de Pluviosité (IP) durant la période 1984-2015.....	52
Figure 33. Indice de Sécheresse durant la période 1984-2015.....	52
Figure 34. Carte de l'occupation Alfatière de la région d'étude en 1921 (GGA 1921).....	54
Figure 35. Carte de l'occupation Alfatière de la région d'étude en 2010 (BNEDER 2010).....	55
Figure 36. Répartition des superficies des nappes alfatières par classe de précipitations.....	57
Figure 37. Répartition des superficies des nappes alfatières par unité géomorphologique.....	58
Figure 38. Répartition des superficies des nappes alfatières par type d'ensablement.....	58
Figure 39. Superficies de recouvrement par unité géomorphologique.....	59
Figure 40. Superficies de recouvrement de l'Alfa par type de faciès.....	60
Figure 41. Répartition des nappes alfatières par faciès et par unité géomorphologique.....	60
Figure 42. Affection des superficies alfatières.....	61
Figure 43. Le potentiel de production moyen des nappes Alfatières.....	61

Liste des tableaux

Tableau 1. Impacts des changements climatiques sur l'Alfa (MATE 2015).....	24
Tableau 2. Les étages bioclimatiques en Algérie (Nedjraoui 2003).....	34
Tableau 3. Fréquences des années pluviométriques en fonction de l'Indice de Précipitations Standardisé (SPI).....	49
Tableau 4. Répartition des superficies des nappes alfatières par classe de précipitations.....	56
Tableau 5. Répartition des superficies des nappes alfatières par unité géomorphologique...57	

Liste des abréviations

- ANAT** : Agence Nationale de l'Aménagement de territoire
- ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydriques
- ASAL** : Agence Spéciale Algérienne
- BNEDER**: Bureau national des études et du développement rural.
- CCNUCC** : Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
- CFT** : Conservation des Forêts de la wilaya de Tiaret
- CNTS**: Centre National des techniques spatiales.
- DGF**: direction générale des Forêts.
- DSA** : Direction des Services Agricoles
- FAO** : Food and Agriculture Organisation
- GES** : Gaz à Effet de Serre
- GGA** : Gouvernement Général Algérien
- GIEC** : Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat
- HCDS**: Haut commissariat pour le développement durable.
- Iddri** : Institut du Développement Durable et des Relations Internationales
- INCT** : Institut National de Cartographie et de Télédétection
- INCT**: Institut national de la cartographie et de la télédétection.
- INSID** : Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage
- IPCC**: Inter governmental Panel on Climate Change
- MADR** : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural
- MATE** : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement
- OMM** : Organisation Météorologique Mondiale
- ONS** : Office National des Statistiques
- OSS** : Observatoire du Sahara et du Sahel
- PNUD** : Programme des Nations Unies pour le Développement
- SNADR**: Schéma National de l'Aménagement et du Développement Rural.
- URBTIA** : Centre d'études et de réalisation en urbanisme de Tiaret
-

Table des matières

- ملخص.....	
- Résumé.....	
- Abstract.....	
- Liste des figures.....	
- Liste des tableaux.....	
- Signification des symboles et des abréviations.....	
- Table des matières.....	
Introduction.....	1
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
1. Le changement climatique.....	6
1.1. Changements naturels du climat.....	7
1.2. Réchauffement climatique.....	7
2. Effets des changements climatiques sur la végétation.....	12
2.1. Le régime des températures.....	14
2.2. La sécheresse.....	16
3. L'écosystème steppique en Algérie.....	18
• Cadre physiographique.....	19
• Cadre édaphique.....	20
• Cadre climatique.....	20
• Cadre socio-économique.....	21
• Formations végétales.....	21
4. Steppe à Alfa.....	23
5. Facteurs de dégradation des steppes à Alfa.....	24
5.1. Situation passée et actuelle.....	25
5.2. Facteurs physiques.....	26
5.3. Facteurs anthropiques.....	27

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Localisation géographique de la zone d'étude	30
2. Caractérisation de la zone d'étude	31
2.1. Relief et géomorphologie	31
2.2. Géologie	31
2.3. Lithologie	32
2.4. Caractéristiques climatiques	33
2.5. Occupation des terres	38
3. Méthodologie.....	40
3.1. Préparation des données climatiques.....	40
a. Les valeurs incohérentes.....	42
b. La consistance interne des données.....	42
3.2. Analyse des variables climatiques.....	42
• L'indice SPI « Standardized Precipitation Index »	42
• L'indice du déficit pluviométrique(IDP)	43
• L'Indice de pluviosité (Ip)	43
• L'indice de sécheresse (IS)	43
3.3. Analyse de la végétation.....	44

RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Analyse des variables climatiques	45
1.1. Evolution des précipitations annuelles	45
1.3. Evolution des températures minimales.....	46
1.4. Evolution des températures moyennes annuelles	47
2. Indices climatiques	49
2.1. Indice de précipitations standardisé.....	49
2.2. L'indice de déficit pluviométrique	50
2.3. Indice de pluviosité	51
2.4. Indice de sécheresse	53
3. Corrélation climat-végétation	53
4. Analyse de la végétation.....	54
Conclusion générale	63
Références bibliographiques.....	65

Introduction

Introduction

Le changement climatique représente une menace sans précédent pour les populations humaines des pays en développement qui luttent déjà pour maintenir leur sécurité alimentaire et leurs conditions de vie (IPCC 2012).

Depuis quelques années, plusieurs études ont porté sur les changements climatiques planétaires dont plusieurs se sont attardées aux sécheresses (OMM 2015). D'après les données analysées par l'OMM (2015), la température moyenne à la surface du globe enregistrée au cours de l'année 2015 a été de loin la plus élevée jamais enregistrée. Elle a accusé une anomalie positive d'environ 0.76 ± 0.09 °C par rapport à la normale calculée pour la période 1961–1990 et de près de 1 °C par rapport à la normale pour la période 1850–1900.

Seaquist et al. (2008), Zhao et al. (2011) ainsi que Fensholt et al. (2012) affirment que dans la plupart des régions arides et semi-arides du monde, la végétation est très sensible aux changements climatiques notamment aux précipitations. Le bassin méditerranéen est actuellement la région soumise à de multiples influences méditerranéenne, atlantique, tropicale et saharienne dont le faible régime de précipitations est difficilement prévisible d'une année à l'autre (Lionello et al. 2006). L'importante évaporation ainsi que l'hypothèse du réchauffement climatique exacerberont cette condition climatique caractéristique des régions arides. Ces caractéristiques climatiques expliquent la complexité de prévision des régimes pluviométriques à l'échelle saisonnière, annuelle et interannuelle (Lionello et al. 2006).

L'Algérie n'est pas épargnée par l'impact des changements climatiques, elle a connu durant les 25 dernières années, des périodes de sécheresse intenses et persistantes caractérisées par un déficit pluviométrique important évalué à près de 30% sur l'ensemble du pays (Nedjraoui 2007).

Nedjraoui et Bedrani (2008) ainsi que Nedjraoui (2011) ont montré que les écosystèmes steppiques situés entre les chaînes telliennes au Nord et les Chaînes les plus méridionales de l'Atlas saharien seront très affectés par les perturbations climatiques dans la région méditerranéenne, cause importante de leur sensibilité et leur vulnérabilité. Ces études ont montré également que les steppes algériennes sont marquées par une grande variabilité interannuelle des précipitations dont les dernières décennies ont connu une diminution notable de la pluviosité annuelle avec parfois plusieurs années consécutives de sécheresse persistante.

Djellouli et Nedjraoui (1995) et Hireche et al. (2007) ont constaté une diminution des précipitations estimée au voisinage de 18 à 27 % alors que la saison sèche s'est étalée de 2

mois durant le siècle dernier. Les régions du Centre et de l'Ouest ont vécu un déficit pluviométrique supérieur à 50 % contre un déficit estimé à 30 % à l'Est. Les sécheresses les plus sévères observées en 1945, 1961, 1994 et 2004 ont touché beaucoup plus la partie occidentale que la partie orientale du pays.

Du fait de leur rôle capital dans le maintien de l'équilibre écologique, socioéconomique et dans la conservation de la biodiversité, les steppes algériennes ont fait l'objet de plusieurs études et recherches phytoécologiques et pastorales (Nedjraoui 1981; Djebaili 1984; le Houerou 1995; Aidoud et Touffet 1996; Bensaid et Smahi 2003 ; Hellal et al. 2007 ; Nedjraoui 2012 ; Benguerai et Benabdeli 2015) et ont toujours suscité l'intérêt des pouvoirs publics par l'élaboration de plusieurs politiques et stratégies de développement de ces espaces fragiles et vulnérables.

Les steppes algériennes notamment les steppes à Alfa (*Stipa tenacissima* L.) connaissent de sérieuses modifications durant les dernières décennies. Divers facteurs, en particulier l'anthropisation et les aléas climatiques, sont responsables de la régression des nappes alfatières et de leurs superficies. Au siècle dernier, les steppes à Alfa occupaient une superficie de 5 millions d'hectares soit environ de 70 % de la surface des hautes plaines steppiques algériennes (Cosson 1853 ; Charrier 1873 ; Djebaili 1984). En 1950, Boudy estimait cette surface autour de 4 millions d'hectares. Le dernier rapport de l'ONS élaboré en 2015 avance une superficie de 2.5 millions d'hectares. C'est ainsi que plus de 50% des nappes alfatières ont disparu depuis un siècle.

Des études portant sur la dynamique de la végétation steppique dans le Sud Ouest Oranais ont montré des faciès qui ont complètement disparu ou remplacés par d'autres qui sont indicateurs de stades de dégradation et d'ensablement (URBT 2002).

Dans une autre étude portant sur le suivi de la végétation steppique dans les steppes Sud Oranaises durant la période 1978-2012, Benguerai et Benabdeli (2015) révèlent une dynamique spatiale intéressante et confirment une évolution régressive du couvert végétal avec une diminution significative de certains groupes de plantes notamment ceux de *Stipa tenacissima* L.

Problématique

Durant ces dernières décennies, les espaces steppiques et leurs environnements ont connu une dégradation spectaculaire qui s'est manifestée par une diminution de plus en plus accentuée de toutes les composantes de cet écosystème (flore, faune, sol et ses éléments, habitat...). La dégradation de ces environnements fragiles se traduit par la réduction du potentiel biologique et la rupture des équilibres écologique et socio-économique.

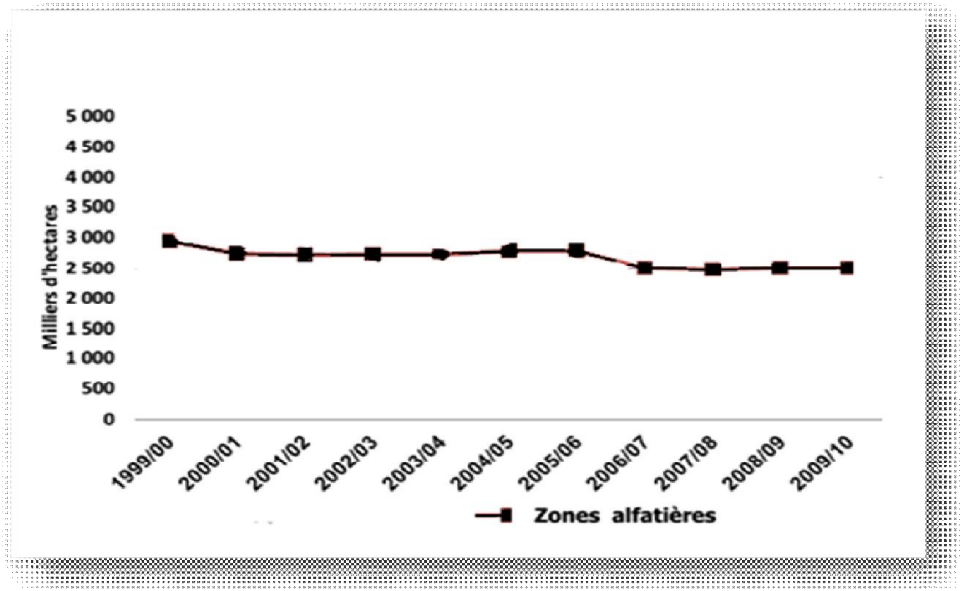


Figure 1. Evolution des terres alfatières (ONS 2015).

Les nappes alfatières, principale composante du cortège floristique des espaces steppiques, ont également beaucoup régressé en superficie du fait de l'accélération de la dégradation par les multiples agents naturels et anthropiques (Fig. 1).

Les zones steppiques situées dans le Sud de la région de Tiaret sont également dominées par les steppes à Alfa dont la superficie est autour de 332.938 ha (DSA 2010). Ces espaces sont aussi exposés aux mêmes effets de fluctuations climatiques et aux actions anthropiques occasionnant la détérioration drastique de leur couvert végétal. D'ailleurs, les régions de la partie Sud de Tiaret sont déjà soumises au fléau de désertification (Direction de l'Environnement 2010).

C'est ainsi qu'environ neuf cent mille hectares de zones steppiques réparties sur douze communes au Sud de la région de Tiaret sont menacés par la désertification (CFT 2008). Cette situation est typique dans les écosystèmes steppiques méditerranéens (Le Houérou 1980,2003; Benabadji et al. 2009).

La carte nationale de sensibilité à la désertification donne une situation très critique de l'état des lieux des espaces steppiques et présahariens (Fig. 2).

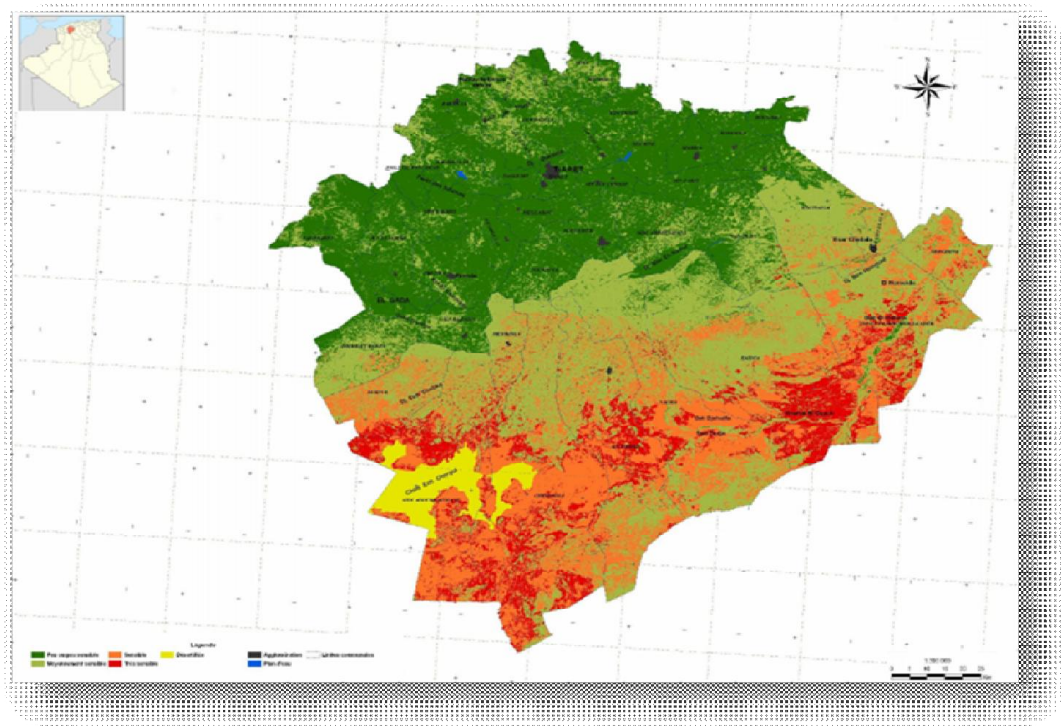


Figure 2. Carte de sensibilité à la désertification de la wilaya de Tiaret (CNTS 2010).

Toutes les recherches entreprises dans ce domaine confirment une nette régression des superficies à *Stipa tenacissima* L. (Hellal et al. 2007 ; Nedjraoui 2012 ; Benguerai et Benabdeli 2015).

Objectifs

Cette étude se propose pour suivre l'évolution des composantes du climat conjointement avec les espaces alfatiers dans la région Sud de Tiaret dans le contexte du changement climatique. Cela passe par la détermination de la nature de cette évolution puis l'établissement des corrélations entre ces composantes.

L'évolution du climat de la région est déterminée par l'analyse des séries chronologiques des températures minimales et maximales et des précipitations durant la période allant de 1984 jusqu'à 2015 puis par l'élaboration d'un certain nombre d'indices bioclimatiques associés mettant en exergue le point sur l'ampleur de l'aridité dans la région.

La deuxième partie du travail s'intéresse à l'analyse de la dynamique des nappes alfatières dans les régions Sud de Tiaret à travers une étude diachronique des cartes et des statistiques.

La dynamique des nappes alfatières dans la région Sud de Tiaret est appréhender en avançant la question suivante ; les variations pluviométriques et thermiques observées comme conséquences aux changements du climat ont-elles influencé la dynamique des nappes alfatières dans la région considérée ?

Synthèse bibliographique

Synthèse bibliographique

1. Le changement climatique

Le climat est défini comme étant une description statistique de l'état moyen de l'atmosphère et des variations spatiales et temporelles des variables climatiques telle que la température, la pluviométrie, l'humidité, le vent et la pression sur une période allant de quelques mois à plusieurs millions d'années (Alexandre et al. 2009).

Dans la littérature, il existe de nombreuses définitions mais le noyau central demeure dans la description des variantes atmosphériques d'une région donnée ; c'est ainsi que l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM) définit le climat comme étant les conditions moyennes qu'il fait dans un endroit donné (température, précipitations ...) calculées d'après les observations d'au moins 30 ans).

Il est donc caractérisé par des valeurs moyennes, mais également par des variations et des extrêmes. Selon le GIEC Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat, le changement climatique s'entend d'une variation de l'état du climat que l'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus.

La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), définit les changements climatiques comme étant des changements qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables.

Les changements climatiques se sont produits sur diverses échelles spatiotemporelles ; les plus grands changements se sont produits sur la même étendue que celle de la dérive des continents. Cependant les grandes variations climatiques sont marquées par les périodes interglaciaires il y a trois millions d'années et la cyclicité du climat a duré des dizaines voir des centaines d'années (Schneider et al. 1990).

1.1. Changements naturels du climat

Le changement climatique est déjà une réalité, les observations scientifiques témoignent d'un réchauffement incontestable du climat et le rythme du changement s'accélère. Des changements dans le climat peuvent être causés à la fois par des événements et processus naturels et par des influences humaines. Les principaux facteurs naturels sont

les changements dans l'intensité de la lumière solaire qui atteint la terre et dans la concentration de la poussière volcanique (qui reflète et diffuse la lumière solaire) dans la stratosphère (Hengeveld 2008).

1.2. Réchauffement climatique

La communauté scientifique internationale conclut : « Il est extrêmement probable que les activités humaines soient la principale cause du réchauffement depuis le milieu du 20^{ème} siècle » (Toureau 2015).

Les tendances futures montrent, en général, une baisse des précipitations et une augmentation des températures. La pluviométrie annuelle baissera de l'ordre de 20% d'ici 2050 et de 40% à l'horizon 2080 (Gommes et al. 2009). Selon les mêmes auteurs, cette chute affectera surtout les saisons pluvieuses notamment, l'automne et le printemps (Le réchauffement avoisinera 3°C d'ici 2080 et atteindra même 5°C dans certaines zones pastorales). Cet accroissement entraînera une augmentation de l'évapotranspiration de l'ordre de 20% d'ici 2050 et 40% à l'horizon 2080.

Onze des douze dernières années (1995–2006) figurent parmi les douze années les plus chaudes depuis 1850, date à laquelle ont débuté les relevés instrumentaux de la température à la surface du globe. Les températures ont augmenté presque partout dans le monde quoique de manière plus sensible aux latitudes élevées de l'hémisphère Nord.

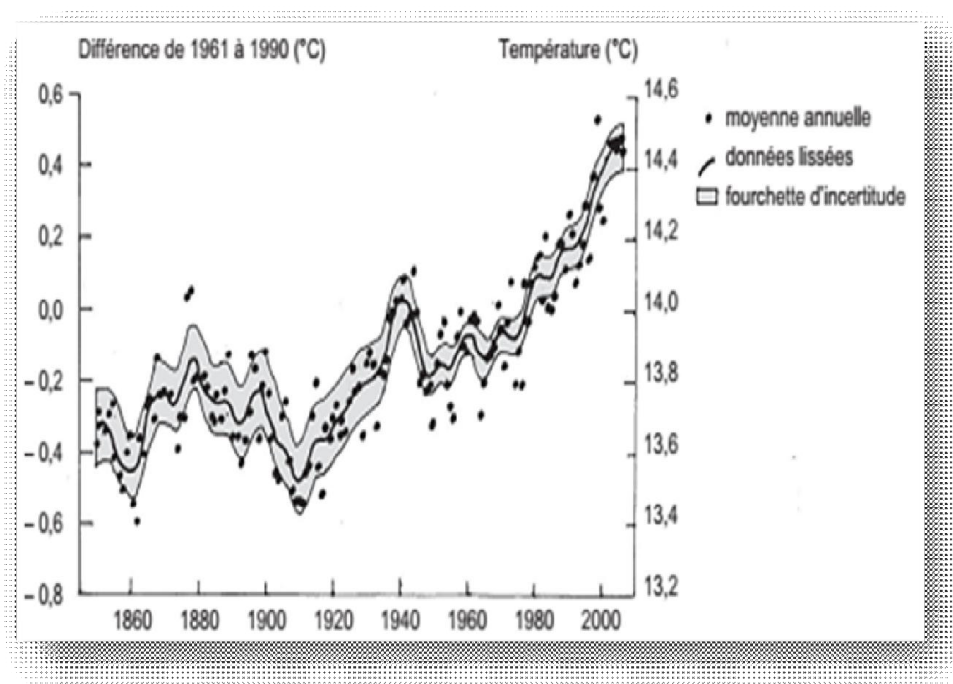


Figure 3. Évolution de la température globale depuis 1850 (GIEC 2007).

Les précipitations ont fortement augmenté dans l'est de l'Amérique du Nord et du Sud, dans le nord de l'Europe et dans le nord et le centre de l'Asie tandis qu'elles diminuaient au Sahel, en Méditerranée, en Afrique australe et dans une partie de l'Asie du Sud.

L'effet de serre est un phénomène naturel, qui résulte de la présence dans l'atmosphère de gaz absorbant le rayonnement infrarouge thermique émis par les surfaces terrestres et sans lequel la température moyenne du globe s'établirait aux alentours de -18°C au lieu de $+15^{\circ}\text{C}$ (Bernard et Jean-François 2008).

L'enveloppe ou l'atmosphère de la Terre joue le même rôle que les parois d'une serre. En l'absence de nuages, elle laisse passer la plus grande partie des rayons du soleil mais retient la chaleur de la Terre en interceptant le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre. Une grande part de ce rayonnement infrarouge thermique est interceptée par les gaz absorbants (vapeur d'eau et CO_2 essentiellement) présents naturellement dans l'atmosphère, diminuant ainsi sa perte vers l'espace. L'énergie ainsi «piégée» par l'effet de serre naturel provoque une élévation de la température en surface. Sans cet effet de serre, la Terre aurait une température moyenne de -18° au lieu de 15° . L'effet de serre est donc essentiel pour le maintien et le développement de la vie (Solomon et al. 2007).

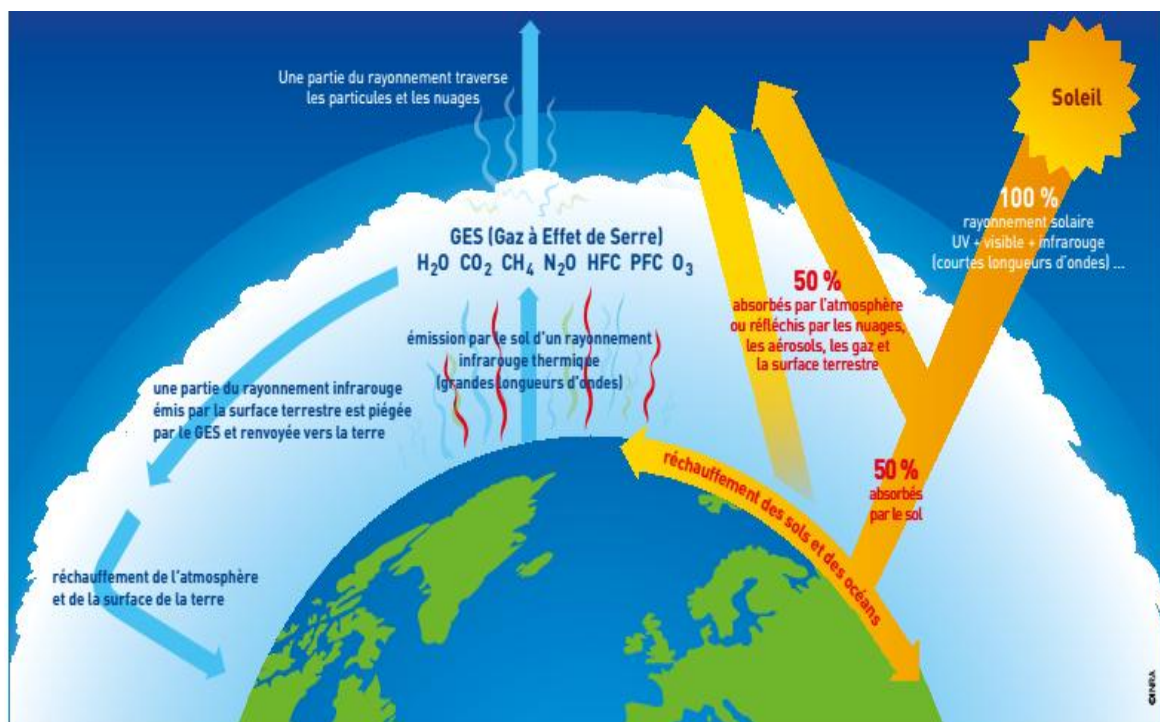


Figure 4. Réchauffement de l'atmosphère et de la surface de la terre (Taureau 2015).

Le changement climatique est en marche et ses effets dans le demi-siècle à venir sont pour partie inévitables. Les variations de la concentration de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, de la couverture végétale et du rayonnement solaire modifient le bilan énergétique du système climatique (IPCC 2007).

La dernière analyse des données d'observation recueillies dans le cadre du Programme de la Veille de l'atmosphère globale de l'OMM révèle qu'à l'échelle du globe, les fractions

molaires moyennes du dioxyde de carbone (CO₂), du méthane (CH₄) et du protoxyde d'azote (N₂O) ont atteint de nouveaux pics en 2014.

Selon les spécialistes du GIEC, les rejets annuels de dioxyde de carbone (CO₂), le plus important gaz à effet de serre anthropique, ont progressé de 80 % environ entre 1970 et 2004. À compter de l'an 2000, on a observé une inversion de la tendance au fléchissement des émissions de CO₂ par unité d'énergie produite qui se dessinait à long terme.

En 2005, les concentrations atmosphériques de CO₂ et de CH₄ ont largement excédé l'intervalle de variation naturelle des 650 000 dernières années. La cause première de la hausse de la concentration de CO₂ est l'utilisation de combustibles fossiles ; le changement d'affectation des terres y contribue aussi, mais dans une moindre mesure.

Il est très probable que l'augmentation observée de la concentration de CH₄ provient surtout de l'agriculture et de l'utilisation de combustibles fossiles ; cette progression s'est toutefois ralentie depuis le début des années 1990, ce qui concorde avec le fait que les émissions totales (anthropiques et d'origine naturelle) ont été quasi constantes durant cette période. Quant à la hausse de la concentration de N₂O, elle est essentiellement due à l'agriculture.

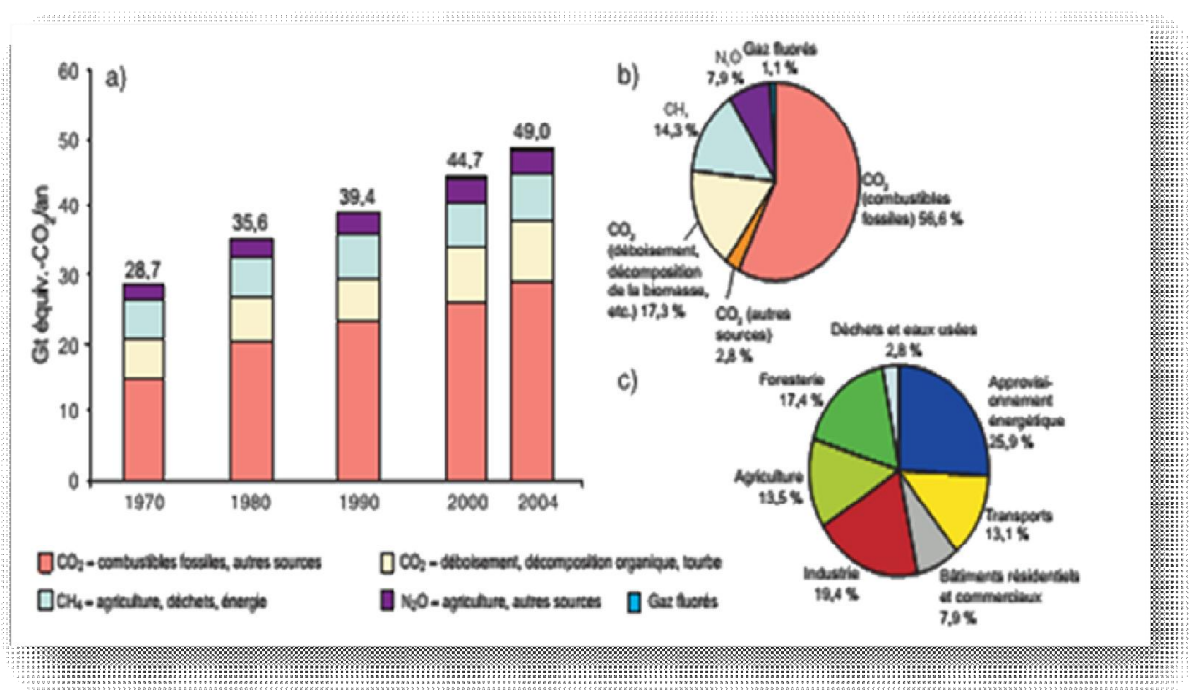
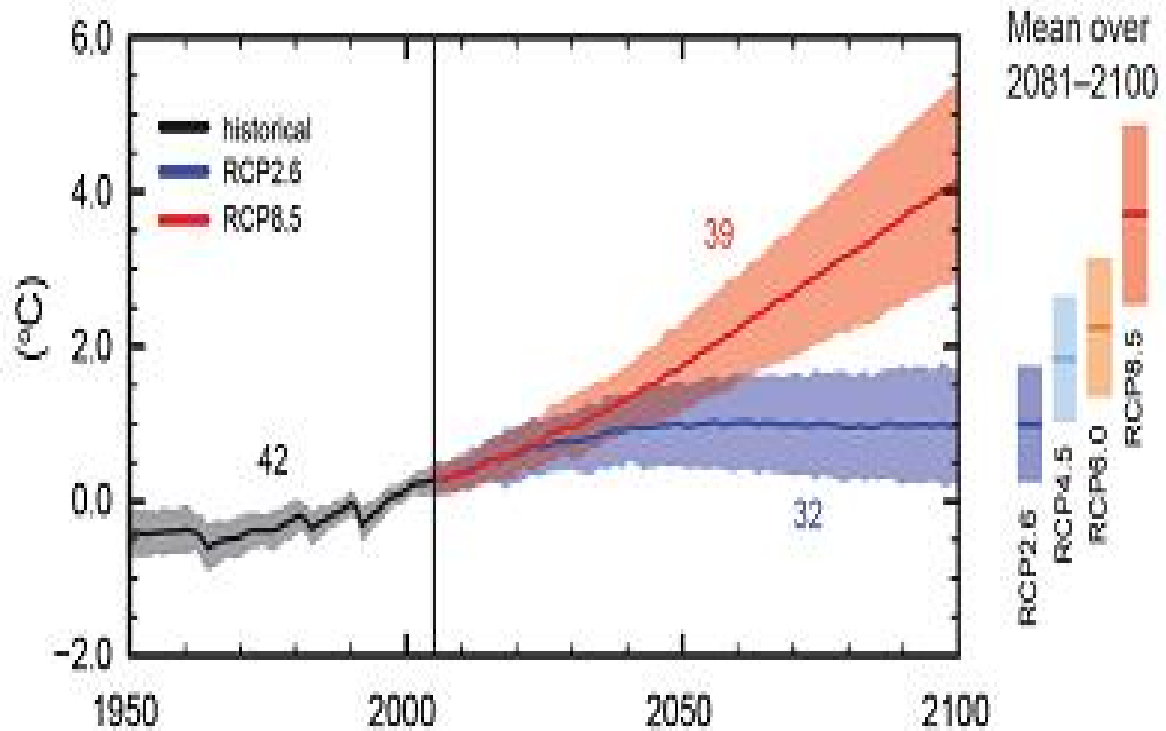


Figure 5. Emissions mondiales de gaz à effet de serre (GIEC 2007).

a) Émissions annuelles de GES anthropiques dans le monde, 1970-2004. b) Parts respectives des différents GES anthropiques dans les émissions totales de 2004, en équivalent- CO₂. c) Contribution des différents secteurs aux émissions totales de GES anthropiques en 2004, en équivalent CO₂.

Sur ces bases scientifiques, trois composantes principales du système océan/atmosphère sont en proie aux futures grandes évolutions climatiques : les changements concernent les

températures (de l'air et de la mer), les régimes de précipitations et le niveau de la mer (Alexandre et al. 2009).



La tendance d'ensemble sera au réchauffement du climat : concernant l'augmentation de la température de l'air à l'échelle du globe, la fourchette des probables, pour les 6 scénarios et Les 23 modèles aujourd'hui utilisés dans le cadre du GIEC, se situe entre +1,1°C et + 6,4°C d'ici la fin de ce siècle (Hertig et Jacobeit 2007). Si une telle augmentation peut a priori paraître peu élevée, il faut avoir conscience que «5°C seulement nous séparent de la dernière période glaciaire » Cette élévation de quelques degrés doit être entendue dans ses implications au niveau des composantes de l'atmosphère, de l'océan et de la surface terrestre, et de leurs interactions (Van Grunderbeeck et Tourre 2008).

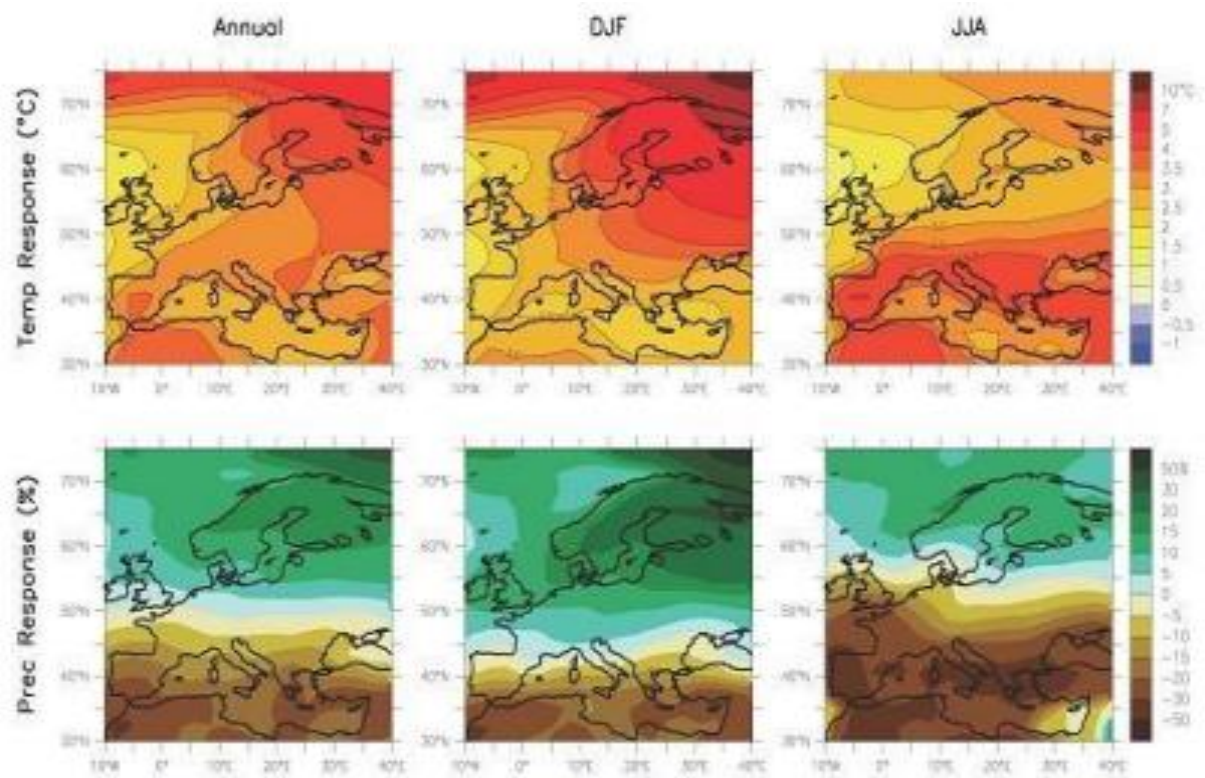


Figure 7. Evolution attendue de la température et des précipitations dans la région méditerranéenne à l'horizon 2100 selon le scénario du « GIEC » (GIEC 2007).

2. Effets des changements climatiques sur la végétation

De grandes incertitudes persistent cependant, quant aux effets des changements climatiques sur les zones arides (Lioubimtseva et Henebry 2009). Dans de nombreuses régions d'Afrique, parallèlement à une diminution de la pluviosité, c'est surtout la tendance vers une augmentation de la fréquence et de l'intensité des périodes sèches qui risque d'être la manifestation la plus insidieuse des changements climatiques (Hillel et Rosenzweig 2002 ; IPCC 2007 ; Thomas 2008).

Toutes les prévisions concernant les conséquences du changement climatique sur la biodiversité dans son ensemble sont très préoccupantes. L'impact des changements climatiques risquent de survenir au niveau des écosystèmes et de leur richesse en termes de biodiversité (Thomas 2008).

Sur la base d'un scénario modéré de changement climatique, on prévoit actuellement une extinction de 15 à 37 % des espèces méditerranéennes d'ici 2050 (Julien et al. 2008). Ainsi, et du fait de leur aridité, les zones steppiques sont sensibles à tout changement climatique. Depuis 1981, jusqu'en 2013, la pluviométrie moyenne a très souvent été en deçà de la moyenne. Une étude menée par Hireche et al. (2007) a montré une tendance à l'assèchement au sud oranais, patrie des parcours à alfa. Cet assèchement va de pair avec une augmentation des températures. Dans l'aride, celle-ci ne dépassent pas 1° C en général. Elles varient de 0,7° C à Mechéria à 0, 8° C pour Ain Sefra. La conjonction d'une légère remontée

des températures et d'un assèchement net du climat a provoqué un déficit hydrique important, qui a aggravé la dégradation de la steppe.

Dans une autre étude sur la dynamique d'une steppe d'Alfa Aidoud et al. (2011), ont montré que la pluviométrie annuelle dans la région d'El Bayadh (Algérie), présente une variabilité élevée avec une tendance à la baisse des régimes pluviométriques durant la période 1857-2005 (Fig. 8).

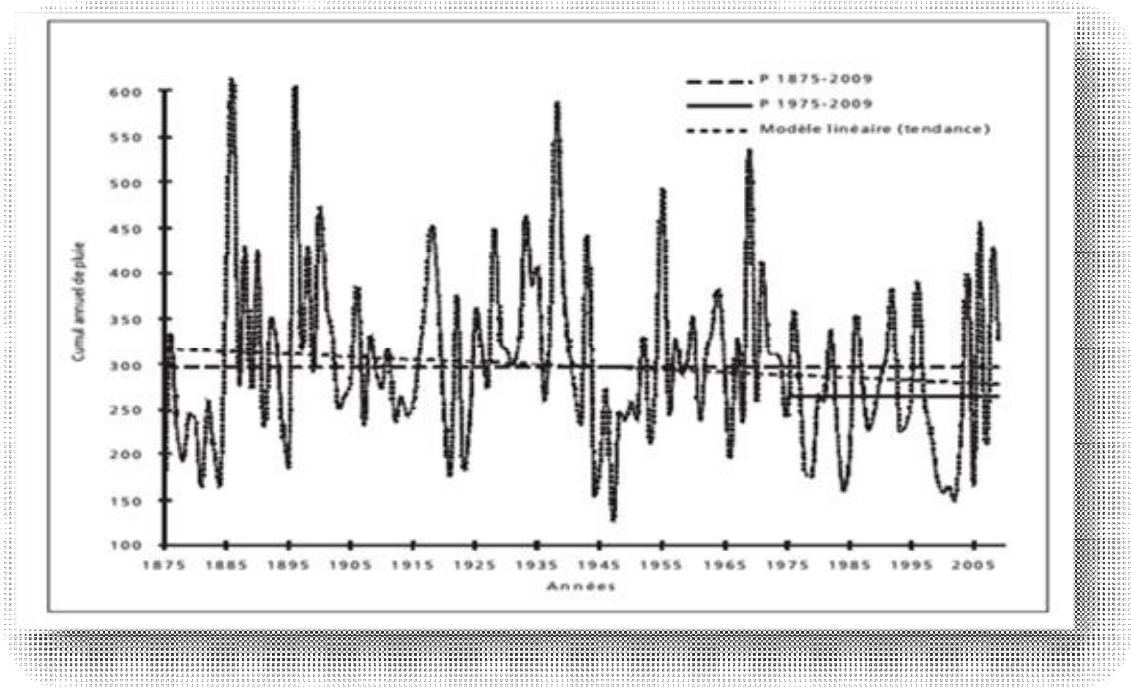


Figure 8. Pluviométrie annuelle dans la région d'El Bayadh (1857-2005) (Aïdoud et al. 2011).

Les travaux et les recherches entrepris dans le domaine de la dynamique des milieux steppiques en fonction de changement climatiques ont montré que des modifications considérables se sont produits dans les espaces pastoraux. Ces études montrent toutes une importante régression du couvert végétal supérieure à 50% et une diminution sérieuse de la production des écosystèmes steppique passant de 120 à 150 UF/ an en 1978 à 30 UF/ha/an pour les parcours dégradés et 60 à 100 UF/ha/an pour les parcours palatables (Aidoud et Nedjraoui1992).

En outre, la steppe algérienne s'est maintenue dans un état dynamique relativement satisfaisant jusqu' à 1975. Une réduction considérable du potentiel de production est survenue entre 1975-1985, évalué à 75% en moyenne (Le Houerou 1985).

Dans d'autres travaux, Slimani et al. (2010) ont montré qu'après 30 ans (1976-2006), des changements écologiques profonds ont affecté toute la steppe, y compris la parcelle mise en défens, avec la disparition totale du système préexistant.

Aidoud et al. (2011) montraient une diminution notable du couvert végétal composant le cortège floristique de la région steppique (El Bayadh) étudiée depuis les années 1970, cette diminution a concerné aussi bien les espèces éphémères que pérennes (Fig. 9).

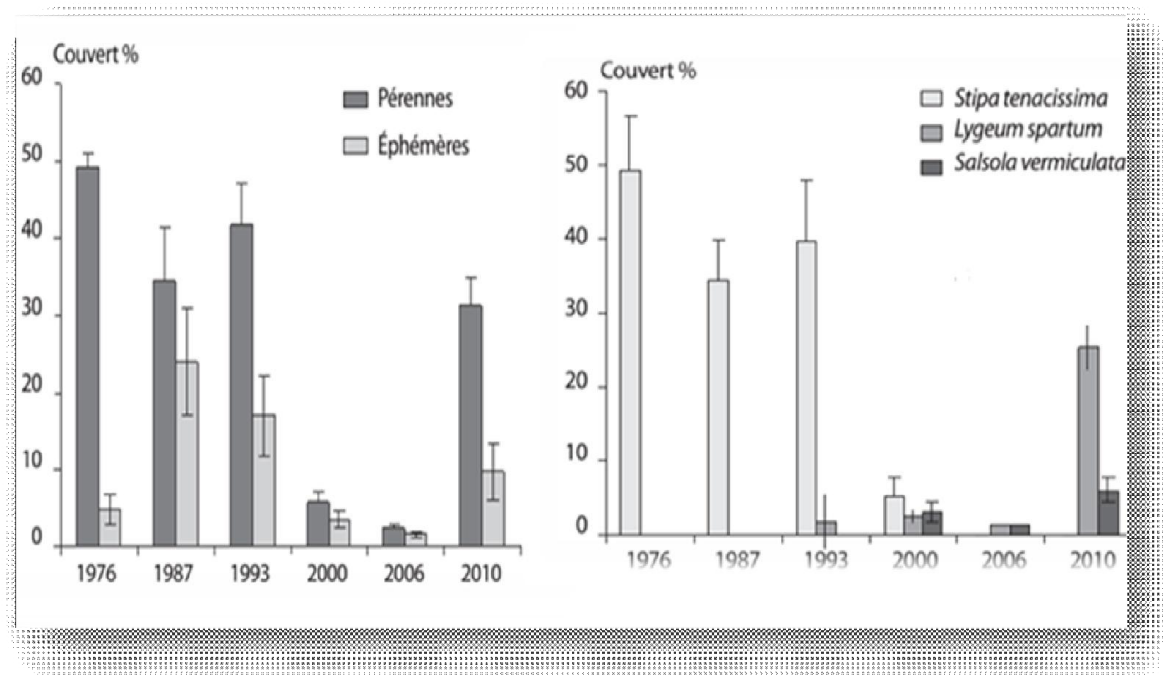


Figure 9. Changement du couvert végétal des espèces pérennes et éphémères dans la steppe d'Alfa (Aïdoud et al. 2011).

2.1. Le régime des températures

Dans le contexte actuel de changement climatique, l'ensemble de la communauté scientifique s'accorde sur la réalité d'une modification de climat et sur un réchauffement global à venir (IPCC 2007). Ainsi, la tendance observée est hausse thermique de la fin du XX^{ème} siècle montre que la température augmente presque partout excepté sur quelques secteurs très précis dans les océans de l'hémisphère sud et en quelques points de l'hémisphère nord (Fig. 10).

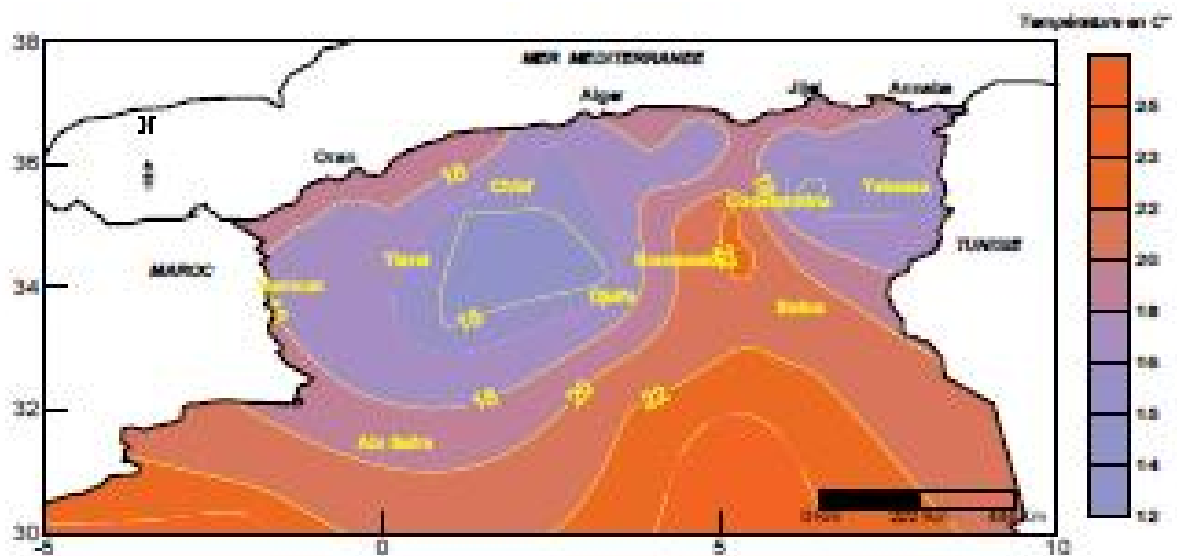


Figure 10. Température moyenne annuelle sur le Nord de l'Algérie durant la période 1950-2005 (ONM 2009).

À l'échelle du bassin méditerranéen, il est probable que la croissance de la température moyenne annuelle soit légèrement plus marquée qu'au niveau mondial (Hallegatte et al. 2007; Van Grunderbeeck et Tourre 2008).

En considérant l'ensemble des scénarios SRES, cette croissance moyenne est estimée comprise entre environ 2°C et 6,5°C d'ici la fin du siècle.

Quant aux variations saisonnières, elles resteront importantes même si l'augmentation des températures sera très probablement plus marquée en hiver qu'en été. À cela s'ajoutent enfin des variations infrarégionales : en automne par exemple, l'ouest du bassin devrait être caractérisé par une élévation de température légèrement plus marquée que le reste du bassin, alors que ce constat devrait s'inverser sur la période estivale pour concerner davantage les pays du Sud et de l'Est (Hallegatte et al. 2007).

Cette croissance des températures moyennes se répercutera en partie sur l'évolution de la température de la surface de la mer, avec des implications sur les dynamiques de la basse atmosphère (jeu des dépressions et anticyclones) et indirectement sur les précipitations et les habitats naturels. Bien que le réchauffement de la surface de la mer, également conditionné par la circulation des masses d'eau, sera moindre que celui de l'air (l'inertie thermique de la mer est plus grande que celle de l'air), l'augmentation moyenne attendue se situera tout de même aux alentours de +2°C à +4°C d'ici le dernier quart du XXI^{ème} siècle (Hertig et Jacobeit 2007; Somot et al. 2007). Ce réchauffement généralisé jouera sur le volume général de la masse d'eau méditerranéenne, puis indirectement sur les habitats côtiers et marins et les écosystèmes associés.

Enfin, la croissance couplée des températures moyennes de l'air et de la mer influenceront, en même temps qu'elles seront influencées par, les régimes régionaux et locaux de précipitations. On voit ici combien les composantes du système océan/atmosphère interagissent, et donc combien leur prise en compte commune est nécessaire à l'identification des effets du changement climatique sur les écosystèmes, les sociétés et les territoires méditerranéens.

2.2. La sécheresse

La sécheresse « météorologique », est définie comme étant le temps écoulé entre deux pluies efficaces, c'est à dire capables d'apporter réellement de l'eau dans le sol''. L'autre aspect de la sécheresse « climatologique » qui est tout simplement un déficit pluviométrique prolongé. On s'accorde à dire que l'on est en condition de sécheresse quand la pluviométrie annuelle est en dessous de 20% de la normale (Le Houerou 1989).

Le bassin méditerranéen se caractérise par diverses spécificités climatiques et environnementales qui incluent, par exemple, une disponibilité faible de la ressource en eau. L'affrontement de diverses grandes masses d'air (air tropical sec d'Afrique saharienne, air humide venu de l'Atlantique...) induit un régime pluviométrique très irrégulier à la fois dans l'espace et dans le temps. On note ainsi que les États de la rive sud ne reçoivent que 10 % à 13 % des précipitations moyennes annuelles du bassin. Au même titre que les pays de la rive Est, ils sont donc caractérisés par un climat de type subtropical, avec une aridité très marquée en Libye et en Egypte (Iddri 2014).

L'altération dans le régime des précipitations peut provoquer des changements majeurs dans la végétation, les sols, la biodiversité et les processus écologiques dans les écosystèmes terrestres (Nielsen et al. 1989 ; Brown et al. 1997; Ehleringer et al. 2001).

La principale vulnérabilité concerne une variabilité plus marquée des précipitations ainsi qu'une occurrence plus accrue d'épisodes secs et pluvieux. Ils sont susceptibles d'avoir des impacts non négligeables en termes de dynamique de distribution des formations végétales (Djellouli et Dadjet 1993).

Les steppes algériennes sont marquées par une grande variabilité interannuelle des précipitations. En outre, les dernières décennies ont connue diminution notable de la pluviosité annuelle, avec parfois plusieurs années consécutives de sécheresse persistante. La diminution des précipitations est de l'ordre de 18 à 27% et la saison sèche a augmenté de 2 mois durant le siècle dernier (Hireche et al. 2007).

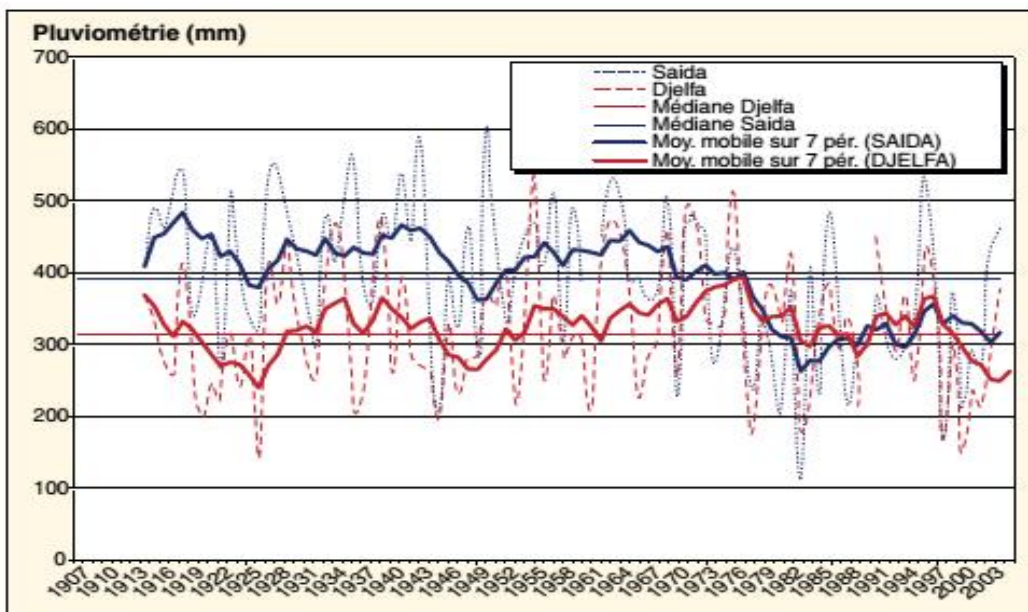


Figure 11. Cumuls pluviométriques annuels d'une station du Sud algérois et d'une station du Sud oranais (Hireche et al. 2007).

En général la pluviométrie moyenne annuelle est faible (100 à 400 mm) et sa répartition est irrégulière dans le temps et dans l'espace. Les pluies se caractérisent par leur brutalité (averse) et leurs aspects orageux (Le Herrou 1989).

De longues observations sur le terrain ont démontré qu'une aridité croissante provoque une détérioration des caractéristiques du sol donnant lieu à un processus de désertification observé notamment dans le sud oranais et le sud algérois(Djebaili 1984).

3. L'écosystème steppique en Algérie

La steppe est un ensemble géographique dont les limites sont définies par le seul critère bioclimatique. D'après Maniere et Chamignon (1996), le mot steppe évoque d'immenses étendues arides couvertes d'une végétation basse et clairsemée.

Les plus importants travaux relatifs aux écosystèmes steppiques (Capot Rey 1953; Quezel 1965; Celles 1975; Djebaili 1978; Le Houerou et al. 1979; Pouget 1980; Le Houerou 1985; Djellouli 1990; Haddouche 2009) s'accordent pour délimiter ces écosystèmes, au Nord par l'isohyète 400 mm qui coïncide avec l'extension des cultures céréalières en sec et au Sud, par l'isohyète 100 mm qui représente la limite méridionale de l'extension de l'alfa (*Stipa tenacissima*).

Les 20 millions d'hectares sont subdivisés en deux grands ensembles: 15 millions d'hectares sont occupés par une végétation steppique graminéenne et chamaephytique constituant les vraies zones de parcours et 5 millions sont occupés par les cultures, les forêts et le sol nu (Nedjraoui 2002).

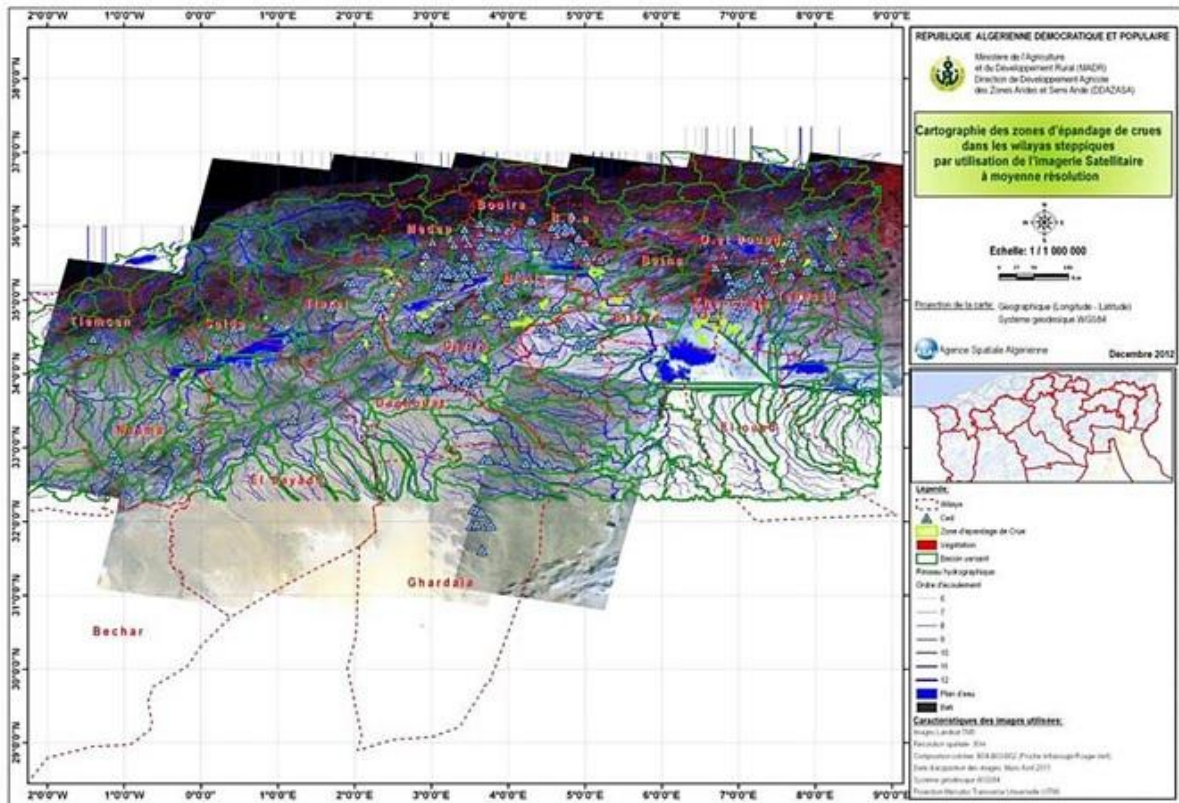


Figure 12. Spatiocarte de la zone steppique algérienne (Asal 2013).

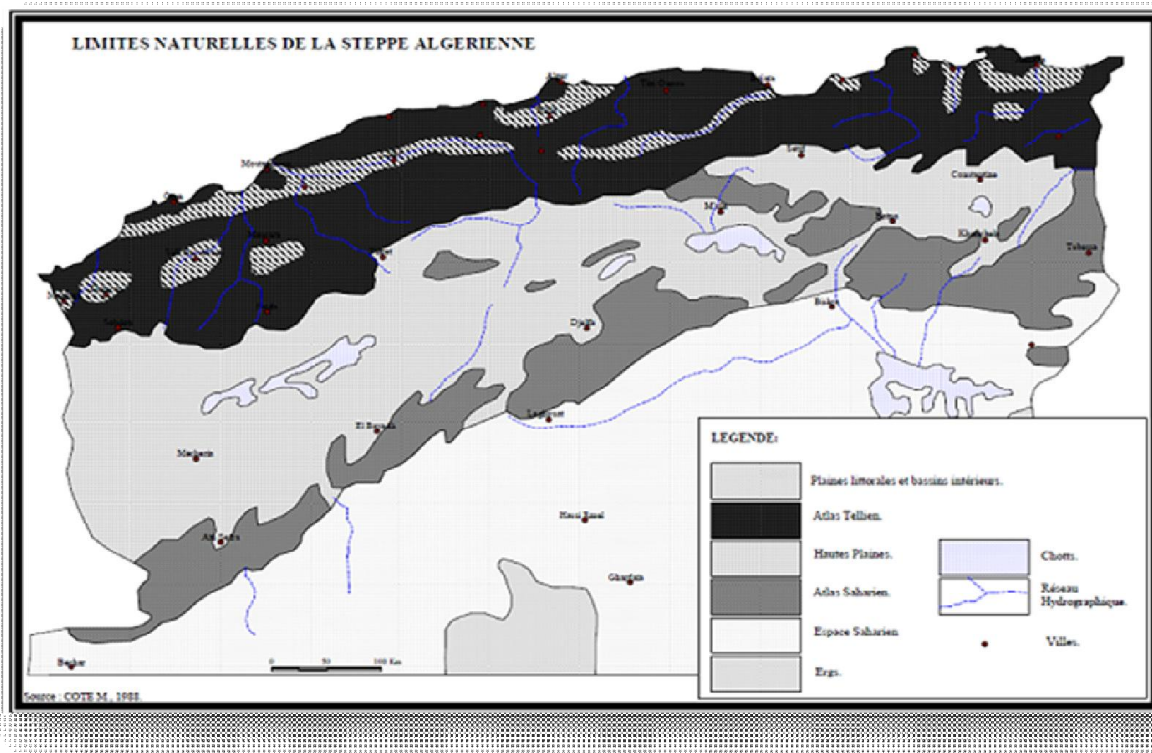


Figure 13. Limites naturelles de la steppe algérienne (Le Houerou et al. 1977).

Les écosystèmes steppiques se caractérisent par une diversité biologique appréciable, fruit d'une adaptation millénaire aux conditions climatiques particulièrement difficiles inhérentes à ces régions. Ils connaissent une importante régression du couvert végétal ainsi qu'une diminution de la productivité pastorale. Ils sont également soumis à un processus de désertification accentué dont les effets ne manqueront pas de se traduire par une tendance à l'accentuation de l'appauvrissement de la biodiversité de ces régions (Le Houerou et al. 1977).

- **Cadre physiographique**

Dans des travaux sur le bioclimat des steppes algériennes Le Houerou, Claudin et Pouget en 1977 rapportaient, que les zones steppiques se situent directement au Sud des chaînes telliennes et au Nord des Chaînonns les plus méridionaux de l'Atlas saharien; on peut distinguer non moins schématiquement dans un premier temps deux unités de relief bien distinctes.

Les Hautes-Plaines sud-oranaises et sud-algéroises se prolongent à l'Est par le Bassin du Hodna et les Hautes-Plaines sud-constantinoises.

Au Sud, faisant transition avec les vastes et monotones étendues sahariennes, deux systèmes montagneux bien différents se relaient de l'Ouest vers l'Est : l'Atlas saharien et les Monts des Aurès et Nememtcha.

En tenant compte de ce schéma la steppe peut être subdivisée en :

Les steppes occidentales à l'Ouest : Hautes-Plaines sud-oranaises et sud-algéroises avec l'Atlas saharien. Ces Hautes-Plaines forment un vaste ensemble monotone dont l'altitude décroît progressivement de la frontière marocaine (1200 m) à la dépression du Hodna (400 m). L'Atlas saharien (monts des Ksours, Dj. Amour, Monts des Ouled Nail, Monts du Zab) est un alignement de reliefs orientés SO-NE ; leur altitude décroît également d'Ouest en Est de plus de 2000 mètres dans les Ksours à 1000 m environ au Sud du Chott El Hodna.

Les steppes orientales: à l'Est du Hodna s'étendent les Hautes-Plaines sud-constantinoises dont l'altitude est relativement stable (900 à 1200 m) avec, au Sud, l'imposant massif des Aurès et son prolongement oriental des Nememtcha.

- **Cadre édaphique**

Selon Pouget (1980), la plus part des sols steppiques sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire réduisant la profondeur de sol utile ; ils sont généralement pauvres en matière organique et sensibles à la dégradation. Les bons sols dont la superficie est limitée, se situent au niveau des dépressions (sols d'apport alluvial) soit linéaire et constituées par les lits d'oueds soit fermées et appelées Dayas.

- **Cadre climatique**

Comme l'Algérie du Nord, les zones steppiques ont un climat méditerranéen avec une saison estivale de 6 mois environ, sèche et chaude, le semestre hivernal (Oct, Avril) étant par contre pluvieux et froid. Il s'agit cependant, pour les steppes, d'une forme particulière de ce climat caractérisé essentiellement par :

- Des faibles précipitations présentant une grande variabilité inter mensuelle et interannuelle.
- Des régimes thermiques relativement homogènes mais très contrastés, de type continental

La pluviosité moyenne annuelle est en général faible. D'après les données analysées par Seltzer (1946) les Hautes Plaines sud-oranaises, sud-algéroises et sud-constantinoises reçoivent entre 200 et 400 mm en moyenne par an. La pluviosité s'abaisse sensiblement dans la région du Chott el Hodna dont la partie centrale reçoit moins de 200 mm.

Elle diminue encore sur le pied mont Sud de l'Atlas saharien (environ 150 mm) décroissant rapidement dès que l'on s'éloigne de la flexure sud-atlasique vers le Sud.

Seuls les massifs montagneux reçoivent de, quantités d'eau plus importantes, de l'ordre de 400-500 mm dans l'Atlas saharien et pouvant atteindre plus de 600 mm dans les Monts du Hodna et les Aurès-Belezma.

L'Algérie steppique connaît un régime thermique contrasté, de type continental. L'amplitude thermique annuelle y est partout supérieure à 20°C (Le Houerou et al. 1977). Cependant, il est remarquable que, pour la quasi-totalité de la région étudiée, cette valeur reste comprise entre 20 et 22°C. Située, dans son ensemble, à une distance sensiblement constante de la mer, le régime thermique de la région est aussi fortement influencé par l'altitude ; la latitude n'intervient qu'en deuxième facteur pour différencier les points extrêmes.

- **Cadre socio-économique**

Les parcours steppiques sont des régions à vocation agropastorales. Ce sont des zones où l'élevage et l'agriculture sont les activités économiques par excellence.

Les parcours steppiques et à l'image dans l'ensemble du territoire steppique en Algérie ont connu une évolution et une dynamique conséquente, tant sur le plan écologique que socioéconomique, l'évolution de la population, de l'activité économique pratiquée, l'agropastoralisme a connu un bouleversement ayant mené à une situation de dégradation alarmante.

- **Formations végétales**

Sur le plan de la végétation c'est le domaine des steppes: steppes d'alfa (*Stipa tenacissima*), dont la superficie est plus de 2 millions d'hectares (ONS 2015); dans une steppe en bonne état (nappe alfatière). Cette espèce peut représenter plus de 90% de la phytomasse (Aidoud et al. 2006). On les retrouve dans les étages bioclimatiques semi arides à hiver frais et froid et aride supérieur à hiver froid. Ces steppes colonisent tous les substrats géologiques rocheux bien drainés de 400 à 1800 m d'altitude (Djebaili et al. 1995).

Les steppes d'armoise blanche (*Artemisia herba alba*), recouvrent 3 millions d'hectares et sont situées dans les étages arides supérieur et moyen à hiver frais et froid avec des précipitations variant de 100 à 300 mm. L'armoise est une espèce bien adaptée à la sécheresse et à la pression animale, en particulier la pression ovine (Nedjraoui 2001).

Aidoud (1984), s'est intéressée à l'étude des groupements à sparte (*Lygeum spartum*). Cette étude a mis en évidence la complexité des groupements steppiques et montré l'importance de la place que tient le sparte, ils représentent 2 millions d'hectares, rarement homogènes occupant les glacis d'érosion encroûtés recouverts d'un voile éolien sur sols bruns calcaires, halomorphes dans la zone des chotts. Ces steppes se trouvent dans les bioclimats arides, supérieurs et moyens à hivers froids et frais. Les steppes à sparte sont peu productives. Mais elles constituent cependant des parcours d'assez bonne qualité. Leur

intérêt vient de leur diversité floristique et de leur productivité, relativement élevée en espèces annuelles et petites vivaces, elle est de 100 à 190 UF/ha/an (Nedjraoui 2001).

Hourizi (2004) a mis en évidence l'état de dégradation actuel d'un écosystème à *Lygeum spatum* par une analyse floristique et cartographique de la végétation en utilisant les données de télédétection spatiale.

Les steppes à remt (*Arthrophytum scoparium*) forment des steppes buissonneuses chamaephytiques avec un recouvrement moyen inférieur à 12,5%. Elles présentent un intérêt assez faible sur le plan pastoral. La production moyenne annuelle varie de 40 et 80 kg MS/ha et la productivité pastorale est comprise entre 25 et 50 UF/ha/an avec ce type de steppe est surtout exploité par le camelin (Nedjraoui 2001).

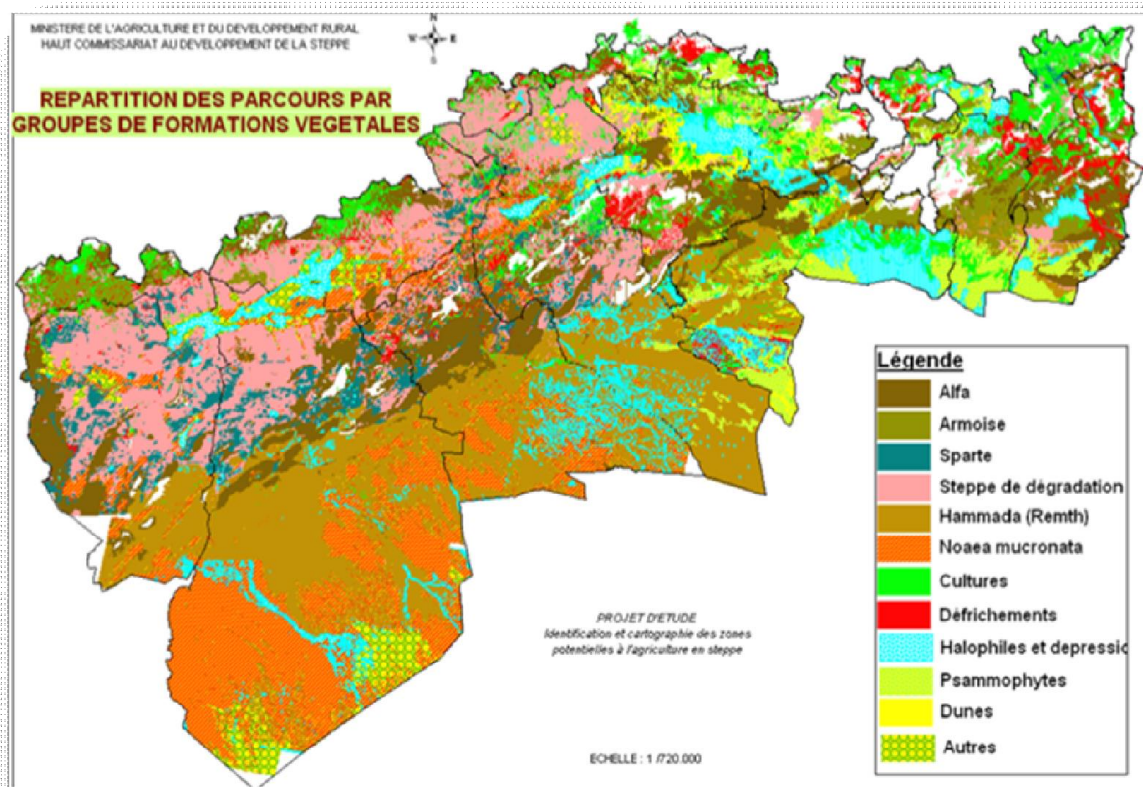


Figure 14. Carte d'occupation des terres de la steppe algérienne (HCDS 2010).

4. Steppe à Alfa

La connaissance approfondie de cette graminée a préoccupé depuis longtemps plusieurs chercheurs, son étude, sa biologie et son écologie ont attiré l'attention de Trabut dès 1889.

L'alfa de l'arabe Halfa (Trabut 1889), Stipe tenace est une plante herbacée vivace de la famille des Poacées, sous-famille des Pooideae, tribu des Stipeae. Son nom scientifique est *Stipa tenacissima* L.

L'alfa (*Stipa tenacissima* L.) est typiquement méditerranéenne appartenant à la sous-région écologico-floristique ibéro-maghrébine, qui fait partie intégrante de la région

méditerranéo-steppique s'étendant de la moyenne vallée de l'Èbre jusqu'à celle de l'Indus (Le Houérou 1990). Elle occupe une grande partie des Hautes Plaines, entre l'Atlas tellien et l'Atlas saharien en Algérie. On en trouve en Tunisie et sur la cote libyenne. Cette espèce est signalée à l'état sporadique au Portugal, en Grèce et en Egypte (Boudy 1950).

L'alfa est une plante pérenne comprenant une partie souterraine, capitale pour la régénération et une partie aérienne, celle qui est récoltée et atteint 1 mètre de hauteur (Quezel et Santa 1962). Il forme des touffes circulaires s'évidant graduellement au centre, au nombre de 3000 à 5000 en moyenne à l'hectare dans un peuplement normal, dans un peuplement dégradé, le nombre tombe de 1000 à 2000 touffes (Boudy 1952).

Stipa tenacissima L. est une plante à grande amplitude écologique puisqu'elle se localise dans les sols calcaires à faible taux en matière organique et dans les substrats rocheux bien drainés (Moulay et al. 2011). Cette espèce est présente dans des régions où l'altitude peut dépasser 2000 m (Djebaili 1988; Costa 1973; Barber et al. 1997).

Elle peut se trouver aussi dans les zones où les précipitations annuelles dépassent 600 mm, et elle est particulièrement abondante dans les zones où les précipitations oscillent entre 200 et 400 mm (Haase et al. 1999). C'est une plante d'une grande valeur écologique puisqu'elle joue un rôle déterminant dans la couverture pérenne du sol et économique en luttant contre l'avancée des dunes et la production de biomasse palatable pour les troupeaux (Moulay et al. 2011).

L'Alfa résiste à des températures de -16°C . Il présente une vie latente qui est observée au dessous de $+1,5^{\circ}\text{C}$ pour atteindre une vie optimale entre 16 et 25°C . La température a donc moins d'effet sur l'évolution de l'Alfa (Boucharef 1996).

La limite inférieure pour le développement de l'Alfa est de 150 mm d'eau par an. L'optimum se situe entre 200 et 400 mm. La limite supérieure est d'environ 500 mm. Sa grande résistance au froid, lui permet d'atteindre des altitudes élevées ; c'est pour cela qu'on peut la retrouver à 1800 m d'altitude (Trabut 1889 ; Le Houerou 1997).

Stipa tenacissima L. ne montre pas d'exigences édaphiques mais vient sur les sols calcaires et pierreux, elle fuit les dépressions inondées, les sols argileux et salés dans son aire de prédilection (Boudy 1950).

5. Facteurs de dégradation des steppes à Alfa

Les parcours alfatier jouent un rôle primordial dans l'alimentation du cheptel. L'Alfa représente aussi la matière première de la pâte à papier, de même qu'elle est aussi utilisée par le secteur artisanal (Aidoud 1995).

L'augmentation de la température ainsi qu'une variation modérée dans les précipitations ne semblent pas avoir d'impacts importants directs et/ou indirects sur

l'Alfa. En revanche, les épisodes secs prolongés sont susceptibles d'engendrer des changements importants dans le cycle de vie, de reproduction et de croissance. Une diminution de la quantité d'Alfa aurait des conséquences immédiates sur la structure et les fonctions de cet écosystème.

Tableau 1. Impacts des changements climatiques sur l'Alfa (MATE 2015).

Alfa	Température	Précipitation	Extrêmes
Impacts directs			
Changement dans le cycle de vie, de reproduction et de croissance			Fort
Changement dans la chaîne alimentaire (trophique)			Fort
Impacts indirects			
Changement dans l'abondance et de la compétitivité de l'espèce			Fort
Changement dans la structure et les fonctions des écosystèmes			Fort
Degré de changement :			
	Faible	Moyen	Fort

5.1. Situation passée et actuelle

Les tendances actuelles dans les steppes arides et semi-arides sont la régression des espèces pérennes ou à cycle long au profit des annuelles ou des plantes à cycle court. Les plantes herbacées pérennes ont fortement régressé, alors que les peuplements graminéens annuels n'ont pas sensiblement changé (Nedjimi et Guit 2012). On observe une augmentation de l'hétérogénéité dans la répartition du couvert herbacé, avec l'apparition d'une structure "en mosaïque". Ces phénomènes traduisent à la fois les effets des successions d'années sèches et ceux du surpâturage (Le Houérou 2002).

La formation de *Stipa tenacissima* connaît une phase de dégradation depuis les années 1975 sous la pression d'un bioclimat contraignant (période annuelle sèche allant jusqu'à 9 mois dans le Sud oranais ; une pluviométrie faible et irrégulière, a cela s'ajoute l'action anthropique induite par les pratiques de défrichement et de mise en valeur au profit d'une céréaliculture pluviale, de vient très préoccupante. Cette formation éprouve des difficultés à se régénérer et les touffes d'alfa se nécrosent et disparaissent à un rythme inquiétant, la perte de densité est évaluée à une moyenne de 80 touffes annuellement. Ainsi la steppe à *Stipa tenacissima* régresse rapidement entraînant une diminution rapide de la couverture végétale accélérant le processus d'installation des dunes (Moulay et al. 2011).

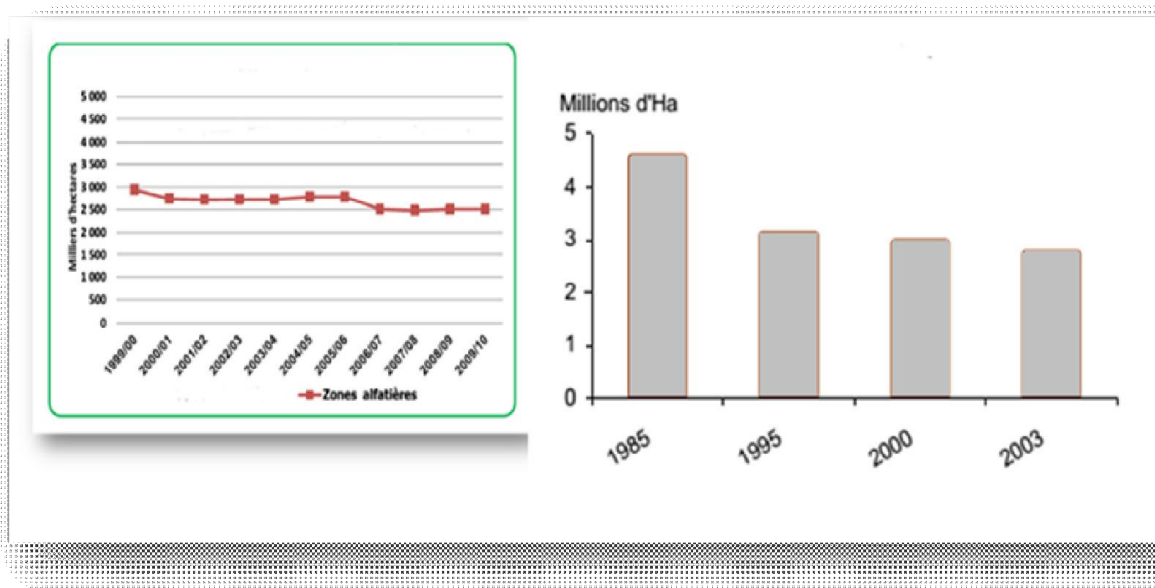


Figure 15. Evolution des terres alfatières (ONS 2015).

5.2. Facteurs physiques

L'action combinée des facteurs climatiques et édaphiques font que les zones sont soumises à une dégradation accentuée par le phénomène de l'érosion. Les risques d'érosion éolienne et hydrique sont forts en steppes arides en raison de la violence des événements climatiques et de la faible protection du sol par la végétation (Nedjraoui 2002).

L'importance du recouvrement végétal est à la fois une conséquence de l'érosion et un indice de risque érosif, que l'on peut associer à des indices d'érodibilité pour faire des prédictions. Les écosystèmes steppiques sont marqués par une grande variabilité interannuelle des précipitations. Les dernières décennies ont connu une diminution notable de la pluviosité annuelle, avec parfois plusieurs années consécutives de sécheresse persistante (Djbaili 1984).

Les sols steppiques sont soumis en permanence à une érosion éolienne et hydrique qui perturbe tout processus de germination et entrave la régénération de *Stipa tenacissima*.

Selon Abdelguerfi (2003), l'érosion éolienne, est le second facteur physique de dégradation de l'écosystème steppique, elle est accélérée dans un milieu où la végétation est devenue plus éparse.

La nature du sol, joue un rôle dans la distribution quantitative de la végétation. Les sols steppiques sont peu profonds, peu évolués, d'apport colluvial ou évolué de type carbonaté à croûte calcaire (Halitim 1988). Ce sont des sols chimiquement pauvres et physiquement très fragiles. La texture grossière du semblant de sol encore en place n'est qu'un voile sableux (30%) avec des éléments grossiers (20 %) et une faiblesse en matière organique, sont exposés à l'action dévastatrice des vents (Djebaili 1988). L'horizon superficiel est de texture sableuse d'apport éolien à très faible taux de matière organique (inférieur à 0.2%) ne permettant pas la germination des graines de *Stipa tenacissima* L. C'est surtout l'effet du vent qui dépose des amas de sable sur la végétation qui constitue un handicap majeur au développement de *Stipa tenacissima* L. Soumise à des vents Sud-est durant plus de 3 mois par an, la zone est connue pour les dépôts sableux dès qu'il y a un obstacle (Moulay et al. 2011).

Dans un milieu ouvert où la végétation a un recouvrement inférieur à 30%, l'action du vent opère un tri en emportant les fines particules telles que le limons et les argiles et laisse sur place des sols squelettiques à dominance d'éléments grossiers présentant un faible pouvoir de rétention d'eau, qui ne peut favoriser la remontée biologique. Ce type d'érosion provoque une perte de sol 150 à 300 t/ha/an, dans les steppes défrichées.

Selon Nedjimi et Guit (2012), l'érosion hydrique est due en grande partie aux pluies torrentielles qui, sous forme d'orages violents désagrègent les sols peu épais, diminuent leur perméabilité et leur fertilité. Les éléments fins, l'humus et les éléments minéraux sont emportés par le ruissellement qui provoque la formation de rigoles et de ravines entaillant profondément la surface du sol. Comme conséquence directe de ce phénomène

d'érosion, un volume de 50 à 250 tonnes par hectare et par an de terre sont ainsi entraînées par le ruissellement sur les sols dénudés à forte pente (Le Houerou 1995).

Plus de 95% des sols des régions arides sont soit calcaires, gypseux ou salsosodiques. Du fait des hautes températures qui sévissent pendant une longue période de l'année, les précipitations subissent après leur infiltration, une forte évaporation entraînant la remontée vers la surface du sol, des particules dissoutes qui se concentrent en croûtes et stérilisent le sol (Ziad 2006).

5.3. Facteurs anthropiques

La croissance démographique dans les zones steppiques a été exceptionnellement forte (moins d'un millions d'habitants en 1954, plus de sept millions aujourd'hui) (Abdelguerfi 2003) et en l'absence d'autres sources de revenus, elle a impulsé une croissance non négligeable du cheptel sur la steppe (plus 20 millions de têtes aujourd'hui contre 4 millions en 1954) (ONS 2015).

L'extension des labours dénudent le sol, augmentent les risques de ruissellement et d'érosion éolienne, accélèrent la disparition des espèces pastorales les plus intéressantes et diminuent la richesse floristique de la steppe.

Il faut noter que la régression de la nappe alfatière découle de la surexploitation des touffes de *Stipa tenacissima* L. pour l'industrie de la cellulose durant la période 1965-1985.

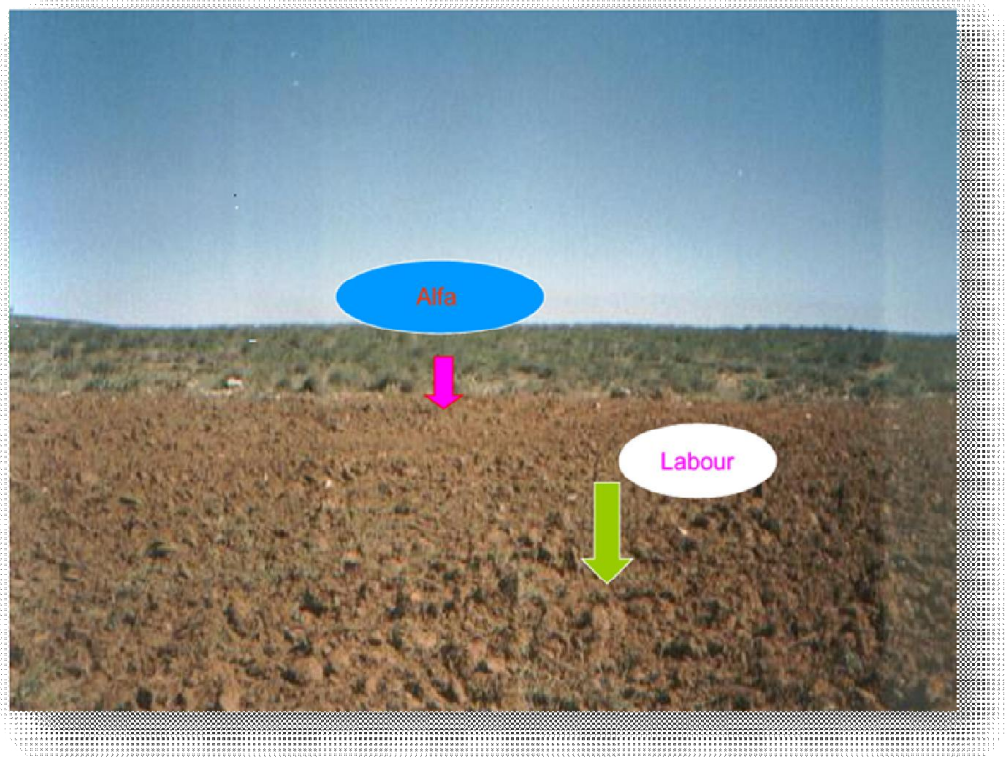


Figure 16. Labours illicites dans une terre alfatière (HCDS 2014).

L'arrachage de l'alfa est ancien mais il ne représente traditionnellement qu'un prélèvement assez modeste des nappes alfatières. Il perd rapidement en volume du fait même de la raréfaction de l'alfa. Aidoud (2001) montre qu'entre 1980 et 2000, l'arrachage de l'alfa a progressivement diminué en volume et ne dépasse plus les 1000 tonnes ce qui est très faible eu égard à l'immensité de la steppe.

A partir de 2010, la production d'alfa est insignifiante passant de 222 tonnes en 2010, atteint un pic de 320 tonnes en 2011 et redescend à 210 tonnes en 2013 (Mata 2014).

Le défrichage et le brulis pratiqués par les grands éleveurs agissent négativement sur le sol et perturbent tout le processus de régénération naturelle. Une fois dégradé, l'écosystème est bien souvent lent ou inapte à se reconstruire ; sa résilience est faible ou nulle, un seuil d'irréversibilité écologique a pu être franchi. Le résultat de ce processus est une régression de *Stipa tenacissima* L. qui a été constatée sur toute son aire nord-africaine (Le Houérou 1995 ; Aidoud et al. 2006), et une extension irréversible des paysages désertiques, comme c'est le cas dans la plupart des régions arides (Le Houérou 1979,1990 ; Dresch 1982 ; El Gasmi 1987).

L'élevage demeure un usage dominant, ce qui explique probablement que le surpâturage soit considéré comme cause de dégradation des steppes à Alfa.

L'effectif du cheptel pâturant en zones steppiques dont la composante prédominante est la race ovine (environ 80% du cheptel) - n'a cessé d'augmenter depuis 1968. C'est ainsi que plus de 7 millions de têtes exploitent les 1.6 millions d'hectares de steppe à *Stipa tenacissima* L. (Nedjraoui 2002 ; Ziad 2006).

Ainsi l'effet du surpâturage (charge pastorale 5 fois supérieure aux potentialités) la steppe à *Stipa tenacissima* L. est menacée par les formations à *Lygeum spartum*, espèce plus rustique et s'accommodant au dépôt de sable éolien dont l'épaisseur atteint parfois plus de 14 cm et entrave tout développement de *Stipa tenacissima* L.

Partie expérimentale

Matériel et méthodes

1. Localisation géographique de la zone d'étude

La zone d'étude est localisée dans la partie Sud à une altitude comprise entre 900 m et 1200 m. Cette région se distingue par son caractère steppique à dominante agro-pastorale avec toutes les conséquences liées à ce type d'activité.

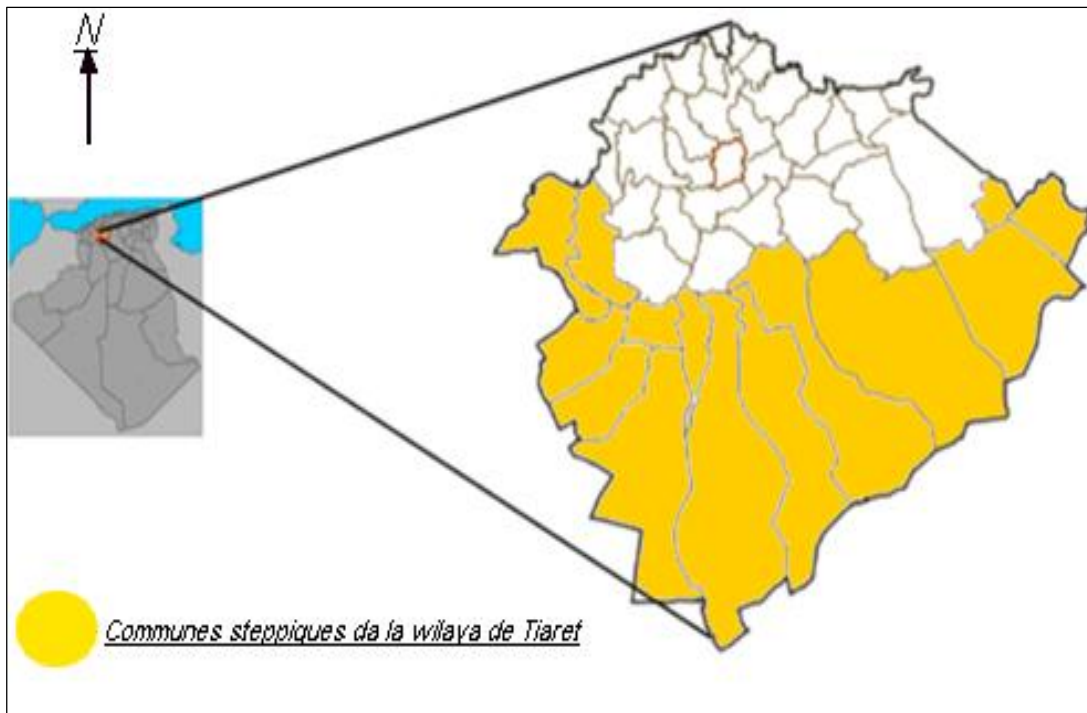


Figure 17. Localisation de la région d'étude.

Notre intérêt et notre choix pour l'étude de la dynamique de l'évolution des steppes à Alfa (*Stipa tenacissima* L.) dans le Sud de la région de Tiaret sont motivés par le fait que cette formation occupe la superficie la plus importante des espaces steppiques.

2. Caractérisation de la zone d'étude

2.1. Relief et géomorphologie

La région d'étude est caractérisée par un paysage montagneux qui se découpe nettement du Sersou au Nord et le plateau d'Ain D'heb au Sud. La chaîne du massif réunit avec une orientation SW.NE, les djebels En Nadour (1.445 m), Ben En Ssour (1.474 m), Es Safeh (1.475m), Chameur (1.508 m), le djebel Rechaigua (1.032 m) et dans le Ksar Chellala, les djebels Metalès (1.096 m) et Zeg et Ben Hammad (1.303 m).

Les reliefs du djebel Nador qui domine l'espace d'étude se caractérisent par leurs parties sommitales rocheuses interrompues par des escarpements d'éboulements; les versants déclives avec des affleurements rocheux et des débris de nappes, sont souvent interrompus par des replats tectoniques avec lesquels s'accumulent des dépôts détritiques et colluviaux. Les vallées produites par la tectonique d'extension et les dépressions formées par la dissolution sont fréquentes, ce sont des zones d'infiltration où, s'accumulent les dépôts résiduels et des dépôts colluviaux, favorables pour les cultures annuelles et le pâturage.

Le long des parties sommitales et des versants, les affleurements rocheux et les dépôts détritiques sont recouverts de végétation méditerranéenne dégradée conséquence d'une forte pression anthropozoïque.

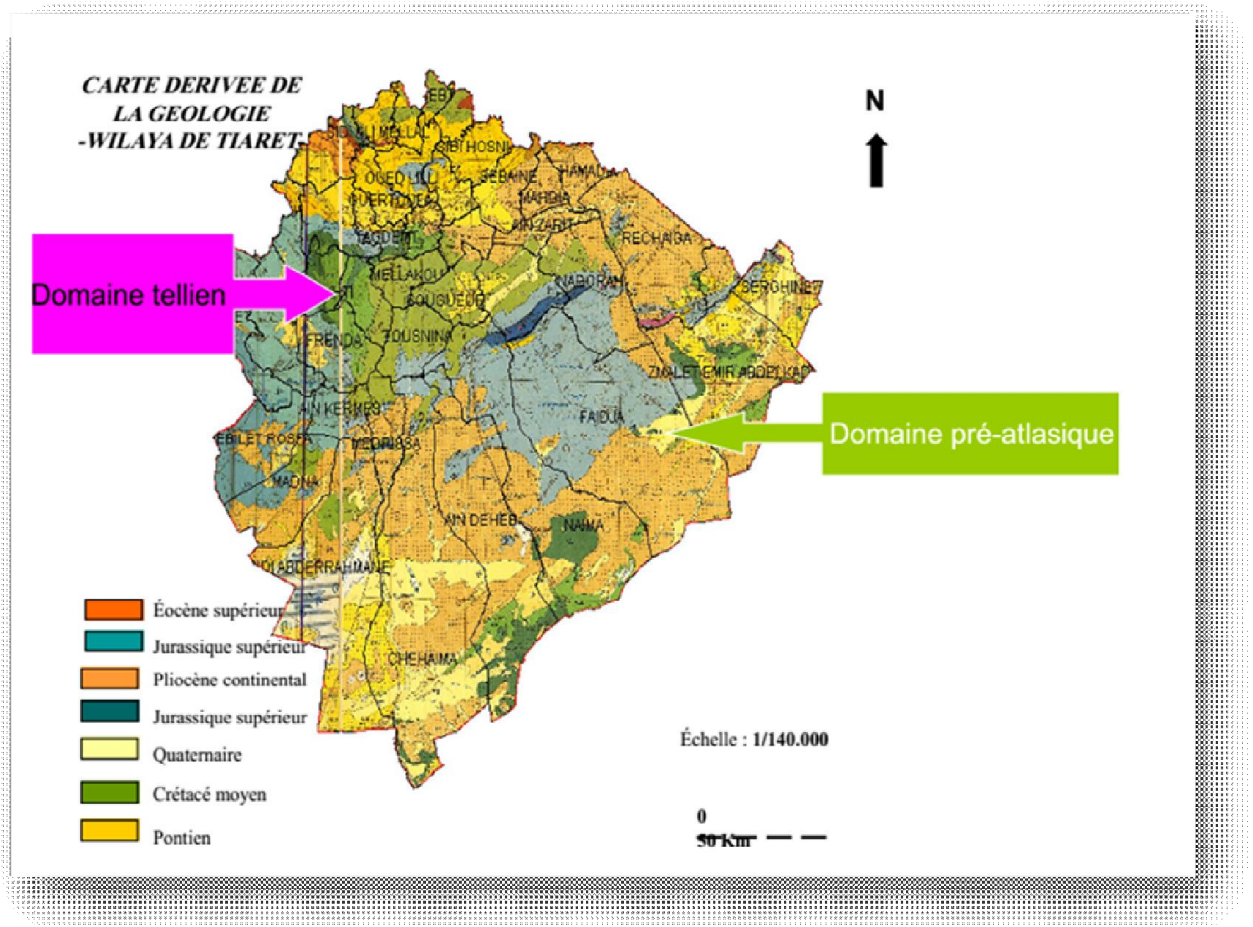
Le versant septentrional du massif du Nador descend en un vaste glaciais versant, caractérisé par de fréquents affleurements rocheux, dans les vallées s'accumulent des dépôts détritiques et colluviaux alternés avec des affleurements rocheux et croûtes calcaires. Les dépôts colluviaux portent des cultures annuelles, qui se raccordent au plateau du Sersou, tandis que sur les séquences érodées cantonne une végétation steppique dégradée.

2.2. Géologie

Le massif du Nador qui s'individualise au sein de cet espace steppique à 40 Km au Sud - Est de Tiaret aligné sensiblement SO-NE sur une cinquantaine de kilomètres. C'est une chaîne des hauts plateaux au climat continental appartenant à l'étage aride ; il convient cependant d'en isoler la partie sommitale, culminant à plus de 1500 m et qui jouit d'une pluviométrie dépassant 450 mm. Sur le reste du djebel, tombent moins de 350 mm de précipitations et souvent moins de 300 mm au-delà de la vallée du Faidja, d'où cette avancée septentrionale de l'étage aride steppique (Dargone et al. 1992).

Ce massif comporte une mosaïque de formations géologiques à savoir : le Trias n'apparaît qu'au centre au niveau du djebel Safeh et au Sud de la maison forestière d'Harmala. En général, les Trias se présentent sous forme de petits massifs très érodés "coincés" dans les séries jurassiques notamment au sein de Nador et le plus souvent isolés au niveau du djebel

Rechaigua et Kef Ez Zerga. En outre, il s'agit de schistes et grès rouges, de cargneules, des calcaires jaunes, de gypse et de sel gemme.



2.3. Lithologie

Les sols steppiques en général sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire, la faible teneur en matière organique et une forte sensibilité à l'érosion et à la dégradation (Djebaili et al. 1984).

C'est ainsi que dans région de Nador les sols sont en relation avec les affleurements géologiques, peu profonds et très érodés, ils sont de structure calcaire friable (sur 80% de la sous zone), on trouve également des marnes dans la vallée et des sols calcaires et dolomies dures dans la bordure montagnaise.

Dans ce milieu on trouve principalement des steppes de *stipa tenacissima* parfaitement adaptées aux conditions lithologiques du milieu.

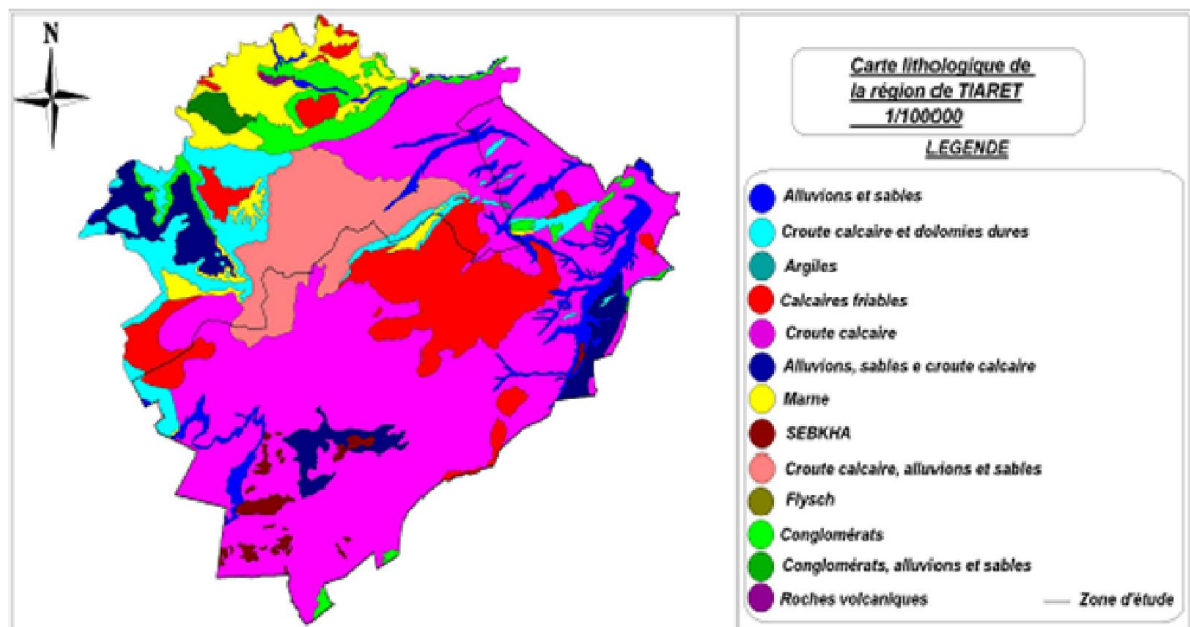


Figure 19. Carte lithologique de la région de Tiaret (INCT 2008).

2.4. Caractéristiques climatiques

Dans la classification des climats, les facteurs essentiels considérés sont : la température, les précipitations, le nombre de jours de pluie, l'état hygrométrique, le brouillard et la rosée. Ces données météorologiques ne sont pas toujours utilisées isolément. Elles sont combinées entre elles de façon à faire apparaître les périodes ayant une influence (favorable ou défavorable) sur la végétation, c'est-à-dire : les périodes chaudes, les périodes froides, les périodes sèches, les périodes humides.

Selon, Nedjraoui (2003) différentes sources de données permettent de caractériser le climat en Algérie :

- Les données de 1913-1938 publiées dans "Le climat de l'Algérie" par Seltzer (1946).
- Les données de 1926-1950 des stations sahariennes publiées dans "Le climat du Sahara" par Dubief (1950-1963).
- Les données de 1913-1961 publiées dans la notice de la carte pluviométrique de l'Algérie septentrionale, établie par Chaumont et Paquin (1971).
- La carte pluviométrique publiée (1993) par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques.
- Les données actuelles publiées par l'Office National de la Météorologie.

L'Algérie, qui est un pays soumis à l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude, présente un climat de type méditerranéen extra tropical tempéré. Il est caractérisé par une longue période de sécheresse estivale variant de 3 à 4 mois sur le littoral, de 5 à 6 mois au niveau des Hautes Plaines et supérieure à 6 mois au niveau de l'Atlas Saharien.

Les précipitations accusent une grande variabilité mensuelle et surtout annuelle. Cette variabilité est due à l'existence de gradients (Djellouli 1990) :

- La moyenne des températures minimales du mois le plus froid "m" est comprise entre 0 et 9°C dans les régions littorales et entre – 2 et + 4°C dans les régions semi-arides et arides.

- La moyenne des températures maximales du mois le plus chaud "M" varie avec la continentalité, de 28°C à 31°C sur le littoral, de 33°C à 38°C dans les Hautes Plaines steppiques et supérieure à 40°C dans les régions sahariennes.

Tableau 1. Les étages bioclimatiques en Algérie (Nedjraoui 2003).

Etages bioclimatiques	Pluviosité annuelle (mm)	Superficie (ha)	Pourcentage de la superficie totale
Per humide	1 200 – 1 800	185 275	0.08
Humide	900 – 1 200	773 433	0.32
Sub humide	800 – 900	3 401 128	1.42
Semi aride	600 – 300	9 814 985	4.12
Aride	300 – 100	11 232 270	4.78
Saharien	< 100	212 766 944	89.5

En Algérie sont représentés tous les bioclimats méditerranéens depuis le per humide au Nord jusqu'au per aride au Sud pour les étages bioclimatiques, et depuis le froid jusqu'au chaud pour les variantes thermiques.

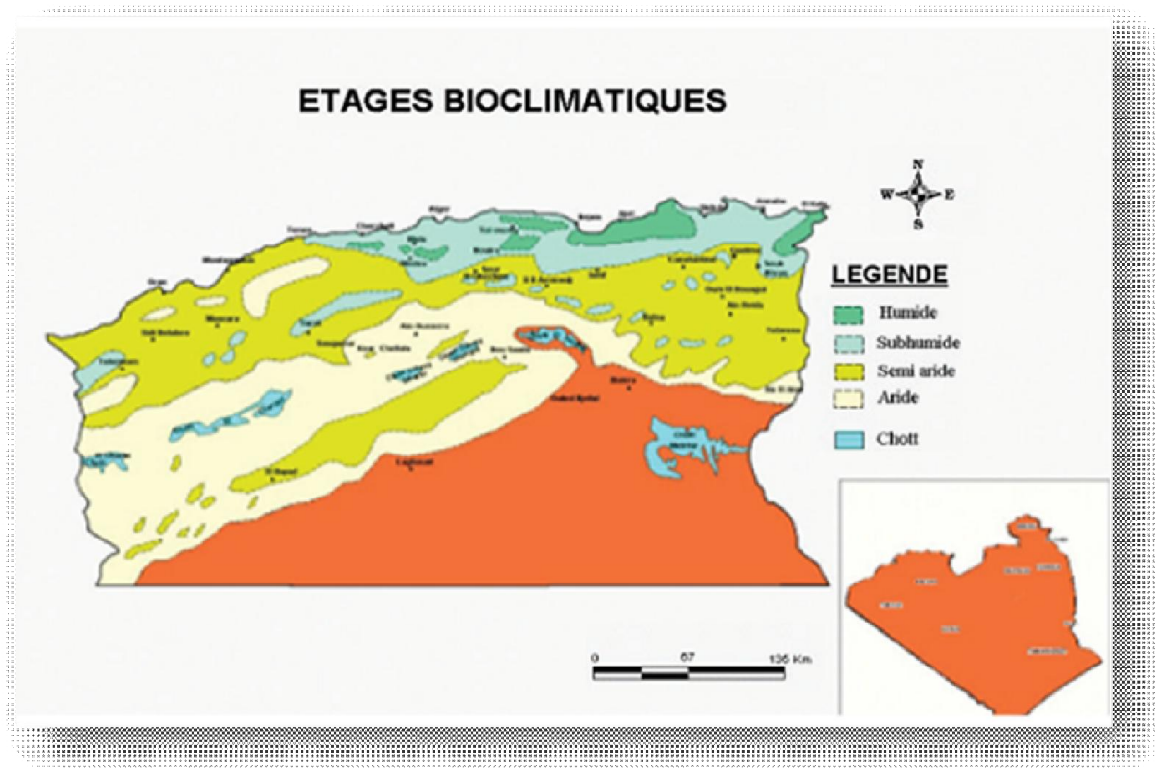


Figure 20. Etages bioclimatiques de l'Algérie (ANAT 2004).

La région d'étude située au Sud de la région de Tiaret est caractérisée par un climat de type méditerranéen contrasté avec une saison estivale alternant avec une saison hivernale pluvieuse, fraîche sinon froide.

Il s'agit cependant d'une forme particulière :

- ✓ des précipitations faibles présentant une grande variabilité inter mensuelle et interannuelle;
- ✓ des régimes thermiques relativement contrastés de type continental.

Cette continentalité est traduite par des grandes amplitudes thermiques qui montrent l'importance de la chaleur estivale.

Les précipitations constituent un paramètre climatique dont la contribution au processus de dégradation et de désertification écosystèmes semi-arides est des plus conséquentes, les périodes de sécheresse qui caractérisent un déficit entre les précipitations et l'évapotranspiration sont pour accentuer la désertification des parcours steppiques en Algérie (Nedjraoui 2008).

Les précipitations dans les régions steppiques peuvent être, d'une part, aux pluies originaires des vents humides du secteur nord durant la saison froide dont l'influence diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la mer (Seltzer 1946) et d'autre part, des pluies orageuses liées aux perturbations atmosphériques engendrées par les dépressions en provenance des régions sahariennes (Dubief 1959).

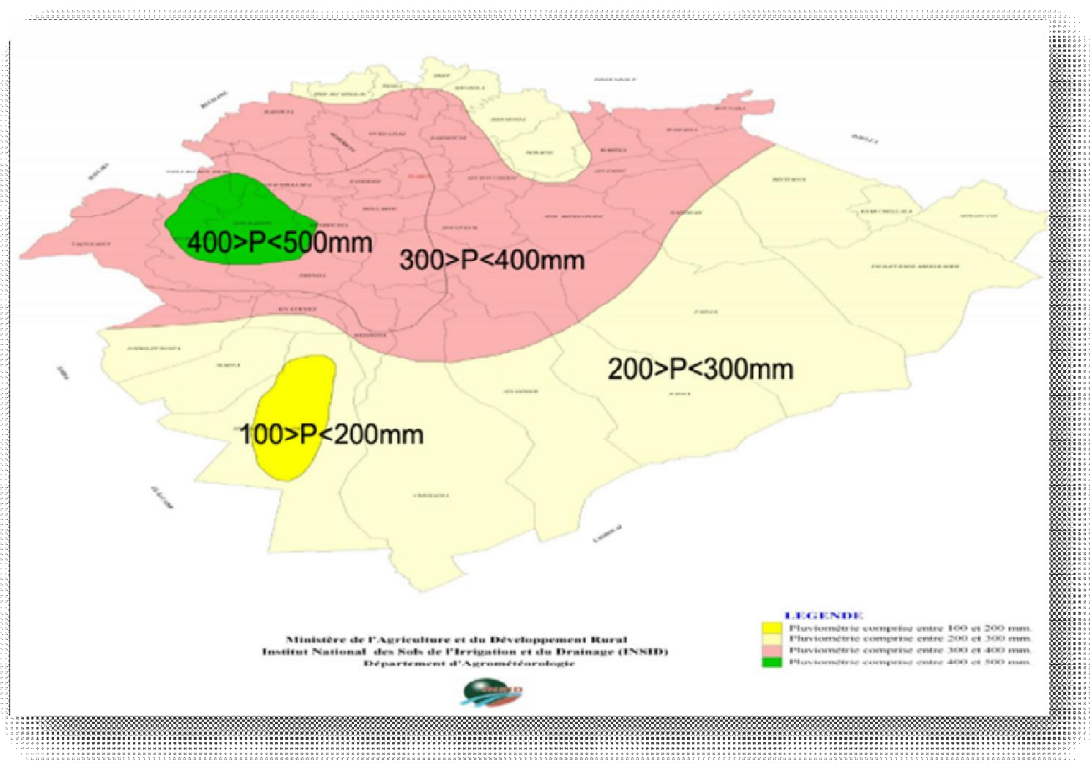


Figure 21. Carte pluviométrique de la wilaya de Tiaret (Moyenne de la période 1986-2006) (INSID 2010).

L'utilité de la neige réside dans le fait qu'elle assure un rôle de régulation des écoulements superficiels et d'alimenter les nappes souterraines. Les chutes de neige sont devenues moins fréquentes et avec des épaisseurs ne dépassant pas les 15 cm.

Une source d'eau à ne pas négliger pour le sol et les végétaux. En se référant uniquement à la station de Ksar Chellala, la neige tombe surtout en hiver, avec une moyenne de 10 jours /an.

L'analyse des écarts thermiques dans la zone d'étude met en relief des températures assez élevées durant l'été. En hiver, les températures minimales de la région connaissent des valeurs relativement basses.

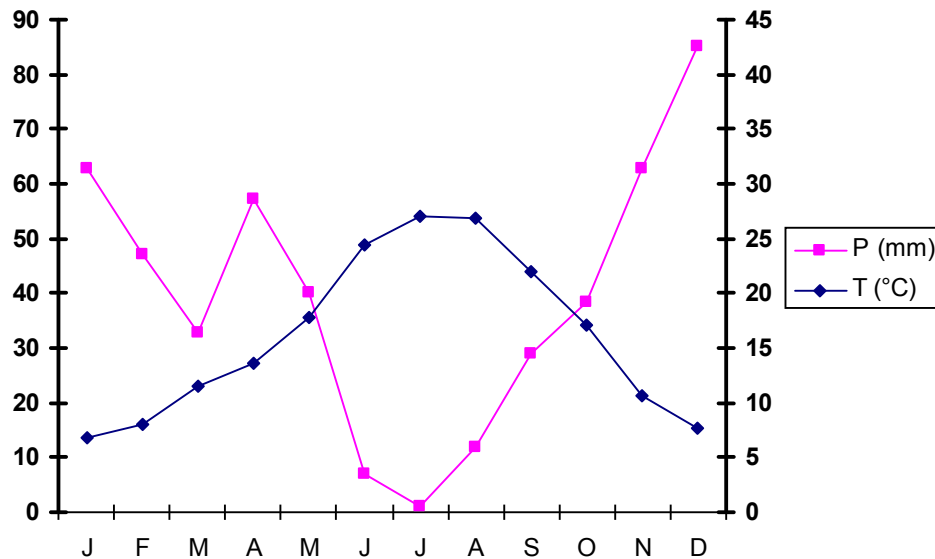


Figure 22. Diagramme Ombrothermique de la partie Nord de la région d'étude.

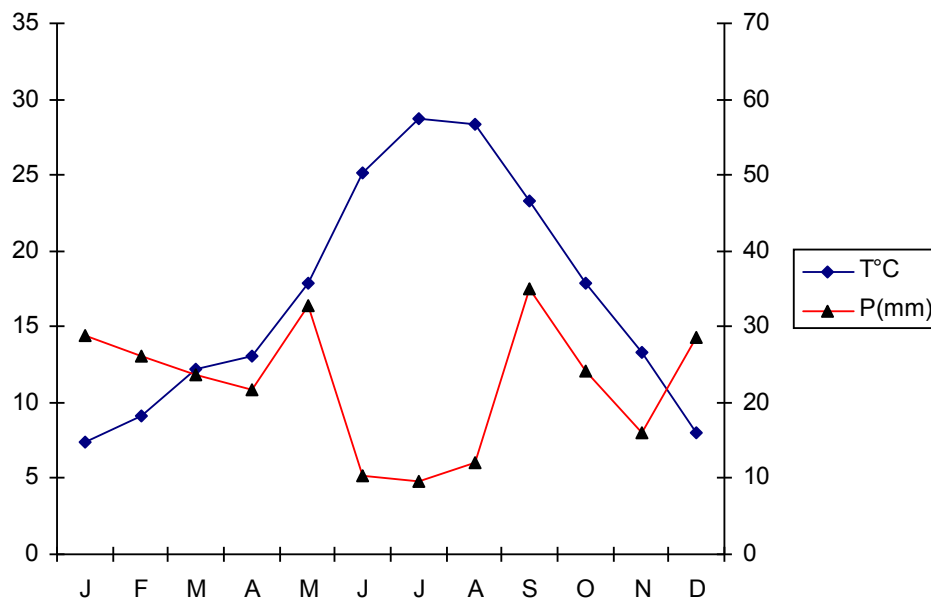


Figure 23. Diagramme Ombrothermique de la partie Sud de la région d'étude.

La région steppique de la wilaya de Tiaret n'est pas à l'abri de l'action du vent par son rôle important dans la formation des reliefs et des sols, dans les dégradations de la végétation et la destruction des sols (érosion éolienne).

La direction, la fréquence et la vitesse sont très variables au cours de l'année. La vitesse moyenne annuelle est 5,8 m/seconde. Cependant, en hiver les vents dominants sont ceux du Sud, Sud-Ouest et Ouest; en été ce sont d'abord les vents du Nord et ensuite du Nord-Ouest et l'Ouest et de Nord-Est.

Généralement ils sont à l'origine des pluies. Par contre ceux du Sud sont généralement secs et chauds et deviennent très compromettant (desséchant) surtout pour la céréaliculture. Ils font baisser le degré hygrométrique de 60% à 20%. Dans ces régions le siroco peut sévir pendant 15 jours (Djebaili 1984).

C'est un vent très chaud et très sec soufflant du sud au nord souvent associé à des particules des sables et de terres et, fréquemment durant la période estivale. C'est durant cette période sèche, qu'il cause plus de dégâts aux sols déjà déshydratés par l'effet de la chaleur estivale. Les mois pendant les quels, il se manifeste sont très variables durant l'année. On enregistre 14 jours /an.

Il faut remarquer que le siroco commence à souffler en moyenne de 0,9 à 1,9 jours dès le début de mois d'avril, au moment où la végétation est en pleine croissance, ce qui cause des dommages aux jeunes plantes.

Le siroco peut souffler à n'importe quel moment de l'année sauf aux mois de Janvier et de décembre. Les maximums sont observés aux mois de Juillet avec 3.6 jours en moyenne et 2.8 jours au mois d'août.

2.5. Occupation des terres

L'occupation du sol est dans l'ensemble marquée par une faible présence de terres forestières qui couvrent une superficie de 154 200 ha soit un taux de boisement faible, estimé à seulement 8 % et qui est inférieur à la moyenne nationale (BNEDER 2007).

Ces terres appartiennent aux monts de Frennda semi-aride localisées à l'Est de la wilaya. En revanche, les terres de parcours (y compris alfatières) et les terres agricoles occupent respectivement 1 065 198 ha et 745 619 ha soit 53 % et 37% de la superficie de la wilaya situées au niveau des hautes plaines et plateaux (DSA 2014).

Le reste du territoire est occupé par les terres improductives formées terrain rocheux et plan d'eau sur une superficie de 46 378 ha soit 2 % de la superficie totale de la wilaya (BNEDER 2007).

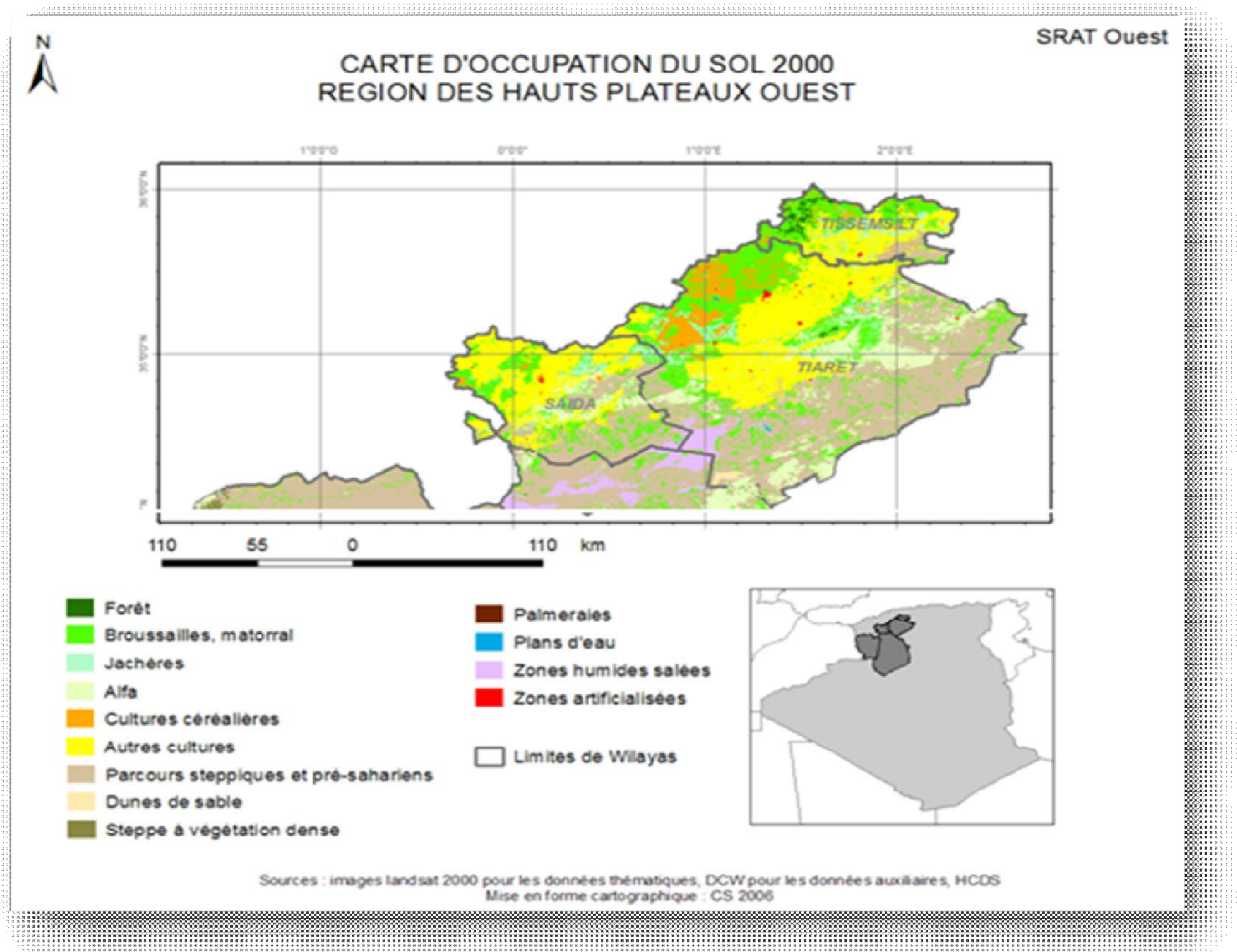


Figure 24. Carte de l'occupation des sols de région des hauts plateaux Ouest (HCDS 2006).

Les types biologiques ou formes de vie des espèces traduisent la forme présentée par les plantes dans un milieu sans tenir compte de leur appartenance systématique. Ils expriment une biologie et adaptation aux conditions du milieu.

La végétation rencontrée au niveau des parcours steppiques dans la région de Tiaret est typique des écosystèmes semi-arides, en effet on y rencontre divers groupements végétaux, c'est ainsi que l'on identifie, au niveau des trois sous zones les steppes d'alfa, les steppes d'armoise, une végétation psamophytes..... etc. (Dargogne 1992).

La distribution spatiale de la végétation steppique sur l'ensemble du territoire de la zone d'étude, répond à plusieurs variables notamment édaphiques.

Plusieurs travaux de recensement des divers groupements végétaux furent entrepris par les administrations chargées de gérer l'espace steppique. La végétation naturelle de la zone steppique est caractérisée par des sous arbustes tel que le *Noa mucronata* (Chobrog) qui occupe les sols à croûte calcaire et d'une steppe rase à sparte (*Lygeum spartum*). Le couvert végétal à armoise blanche (*Artemisia herba alba*) et d'alfa (*Stipa tenacissima*) est très dominant et constitue et ces espèces constituent la principale végétation naturelle des parcours.

Il existe aussi d'autres types de végétation telle que les halophiles composées de l'*Atriplex halimus*, situées sur les sols à forte salinité, notamment vers la région de Ksar Chellala. On trouve également un autre type de groupement végétal, il s'agit des psamophiles (*Tamarix gallica*, *Retama retam*) qui sont identifiés sur l'ensemble des zones sableuses.

L'Alfa est un élément essentiel de l'équilibre pastoral, il présente un intérêt écologique considérable sur le plan de la lutte contre l'érosion éolienne et par conséquent la désertification. L'Alfa contribue à la protection du sol, favorise l'infiltration de l'eau et constitue une réserve des graines et un abri pour une flore et une faune spécifique (Aidoud 1996).

Par ailleurs, l'Alfa est une graminée vivace xérophile qui ne supporte pas la moindre stagnation d'eau, elle colonise les plateaux secs et sableux (Boukli 2002).

Les bétails peuvent se nourrir de l'Alfa à l'état vert (Automne - Printemps), ils broutent les jeunes pousses mais ils refusent les feuilles lignifiées.

En période de disette on peut servir l'alfa comme aliment de support, ou comme produit de remplacement de paille, ou pour la confection de produits d'alimentation mixte.

Les feuilles d'alfa présentent une quantité importante d'éléments fibreux riches en cellulose qui après blanchiment est excellente pour la fabrication des différents papiers de qualité. En plus l'alfa représente la source d'une activité artisanale: fabrication de cadre, de nattes, de sandale, de balais, et des paniers.

3. Méthodologie

3.1. Préparation des données climatiques

Les conditions de mesure d'une station peuvent varier au cours du temps ce qui peut introduire des ruptures artificielles dans les données qui ne reflètent pas les variations réelles du climat (Beaulieu et al. 2007). Au cours des dernières décennies, plusieurs méthodes ont été développées pour corriger les ruptures artificielles des séries climatiques. En effet, le besoin de longues séries de données climatiques fiables se fait de plus en plus sentir dans divers domaines. Les études des changements climatiques nécessitent la création de bases de données complètes avec lesquelles on pourra analyser de manière adéquate le signal climatique, suivre son évolution dans le temps et prévoir les changements futurs avec une incertitude minimale (Asselin et al. 1999)

Il est alors très important de développer des techniques robustes de détection de ces biais artificiels pour que les données utilisées se rapprochent le plus possible des observations qui auraient été faites sans perturbation des conditions de mesure. Le processus de détection et de correction des ruptures d'origine non climatique est appelé homogénéisation (Beaulieu et al. 2007).

Le terme "inhomogénéités" représente les variations non naturelles qui sont causées par des modifications dans les réseaux d'observations, l'homogénéisation consiste à détecter puis à corriger ces variations (Aguilar et al. 2003). Les sauts de moyenne et les tendances sont les deux types d'inhomogénéités les plus communes (Sensoy et al. 2008). Par exemple, les mesures de précipitations sont perturbées par le vent et l'effet Venturi produit au dessus du cône du pluviomètre. Donc, toute modification ayant un effet sur le vent induira des sauts dans les données. Une modification dans l'environnement immédiat d'une station, induite par exemple par l'urbanisation, la reforestation, ou l'industrialisation, suscite des changements plus graduels (Peterson et al. 2001) et ce, en particulier sur les températures. Une tendance est plus délicate à quantifier car il faut identifier correctement le début et la fin de cette tendance ainsi que son amplitude.

En pratique, il est assez difficile de déterminer si une rupture dans une série représente un changement dans le climat régional ou une inhomogénéité. Deux types d'informations permettent de pencher pour l'une ou l'autre des explications : les enregistrements aux stations voisines (s'il y en a) et les métadonnées (s'il y en a également).

Les données climatologiques retenues dans cette étude comprennent les observations mensuelles et annuelles de températures maximales et minimales mesurées sous abri ainsi que les précipitations.

Les procédures de préparation des données sont les suivantes (Taïbi 2009):

a) Les valeurs incohérentes

Les valeurs aberrantes sont des erreurs fréquentes et facilement détectables (Taïbi 2009):

- ◆ Si la valeur de précipitations est négative (-), elle est supposée une valeur manquante,
- ◆ Si la température maximale est inférieure à la température minimale ; $T_{max} < T_{min}$, les deux enregistrements sont considérés comme des valeurs aberrantes.

Ces erreurs ne sont pas toujours dues à des fautes de frappe mais résultantes ainsi de mauvaises interprétations ou définitions de la période d'enregistrement des variables considérées (Taïbi 2009).

b) La consistance interne des données

Des seuils d'admet sont établis pour maintenir la consistance des séries de données des variables climatiques étudiées. La valeur d'en dehors du seuil (moyenne ± 4 x écart type) ou ($\mu \pm 4 \times \sigma$) est considérée comme une valeur aberrante. Cette méthodologie discerne les événements ayant une faible probabilité d'occurrence et qui ne sont pas toujours des valeurs erronées ce qui requiert l'analyse de ces dernières cas par cas (Taïbi 2009).

3.2. Analyse des variables climatiques

En plus de l'étude des tendances observées dans les séries chronologiques des variables climatiques choisies, les valeurs extrêmes ont été également analysées à travers le calcul d'un certain nombre d'indices statistiques très fréquents dans les études bio-climatologiques.

- **L'indice SPI « Standardized Precipitation Index »**

Il a été mis au point par l'université du Colorado en 1990. C'est un indice simple, puissant et souple à la fois, basé sur des données pluviométriques (McKee et al. 1993, 1995).

Il est exprimé mathématiquement (OMM 2012) comme suit :

$$SPI = (P_i - P_m) / \sigma$$

où :

SPI = Indice standardisé de précipitation ;

p_i = Moyenne inter-annuelle (mm) ;

p_m = Moyenne de la série (mm) ;

σ = Ecart type de la série (mm).

L'intensité des événements est évaluée selon la valeur de l'indice obtenu. L'indice SPI indique qu'une sécheresse débute quand sa valeur est inférieure ou égale à $-1,0$ et qu'une sécheresse se termine quand sa valeur devient positive.

- **L'indice du déficit pluviométrique (IDP)**

Cet indice permet aussi de montrer et de calculer le nombre des années déficitaires et leur succession. Une année est qualifiée d'humide si cet indice est positif, de sèche lorsqu'il est négatif. Il s'exprime par la formule suivante :

$$\text{IDP (\%)} = (\text{Pi} - \text{Pm}) / \text{Pm} \times 100$$

où :

IDP : Indice de déficit pluviométrique (en pourcentage) ;

Pi : précipitation annuelle (en mm) ;

Pm : précipitation moyenne (en mm).

- **L'Indice de pluviosité (Ip)**

C'est le rapport de la hauteur de précipitation d'une année à la hauteur moyenne annuelle de précipitation de la série. Il est exprimé par la formule suivante :

$$\text{Ip} = \text{Pi} / \text{Pm}$$

Une année est dite humide si ce rapport est supérieur à 1 et sèche s'il est inférieur à 1.

- **L'indice de sécheresse (IS)**

Cet indice permet d'estimer le déficit pluviométrique annuel. Cet écart à la moyenne est la différence entre la hauteur des précipitations d'une année Pi et la hauteur moyenne annuelle de précipitations P de la série. La formule est :

$$\text{IS} = \text{Pi} - \text{P}$$

L'indice est positif pour les années humides et négatives pour les années sèches.

3.3. Analyse de la végétation

L'étude de la dynamique de la végétation consiste à faire une comparaison étalée sur période en se basant sur des cartes élaborées sur le même site.

Une étude diachronique a été réalisée sur les nappes alfatières de la région Sud de Tiaret. Pour ce, une carte d'occupation alfatière établie pendant la période coloniale par la Direction de l'agriculture, du commerce et de la colonisation, Service cartographique du Gouvernement Général de l'Algérie (GGA) en 1921.

Cette carte a constitué la matrice de base pour le suivi de l'évolution des nappes d'alfa dans la région de Tiaret. Egalement, des données et des statistiques ont été fournies conjointement avec cette carte par les services CFT et de l'HCDS de Tiaret. La comparaison est faite avec une carte récente établie par le BNEDER en 2010 au profit des services de l'HCDS.

Pour ce faire, un traitement d'image a été réalisé par le logiciel Photoshop afin de délimiter l'aire de répartition de l'alfa durant les deux périodes considérées. Puis, cette délimitation a été superposée sur la carte de Tiaret.

Les données et les indices ont servi à la comparaison de l'évolution de la production en biomasse et celle du couvert végétal de l'alfa seule ou en association avec la végétation associée.

L'évolution des nappes alfatières a été corrélée avec les variables du climat et les indices bioclimatiques dérivés mettant en relation l'accent en particulier sur la sécheresse, l'aridité et les extrêmes thermiques.

Résultats et discussion

Résultats et discussion

1. Analyse des variables climatiques

L'étage bioclimatique de la région d'étude oscille entre le semi aride et l'aride, cette particularité est déterminée par les paramètres climatiques à savoir les précipitations et les températures. L'analyse de l'évolution de ces deux facteurs permet de constater la tendance climatique de la région dont la variabilité est ressentie et est marquée par la fréquence plus accrue de vagues de chaleur avec des épisodes pluvieux.

1.1. Evolution des précipitations annuelles

On peut facilement voir que les précipitations sont très variables d'année en année (Fig. 25). L'analyse de séries pluviométriques de la période allant de 1984 à 2015 de la région d'étude montre une irrégularité dans les régimes de précipitations annuelles.

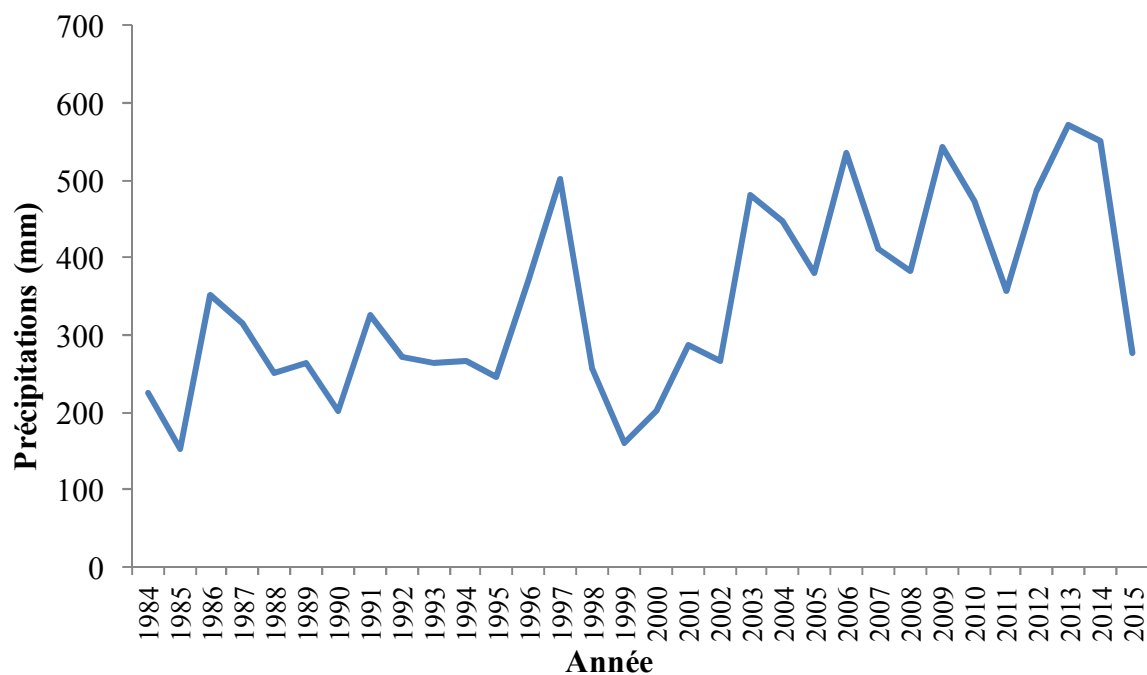


Figure 25. Evolution des précipitations annuelles dans la région d'étude.

On observe toutefois une augmentation de celles-ci durant les dernières années avec un déficit constaté en 2015. Les modifications observées sont une conséquence des changements climatiques, Il y a lieu de noter que ces tendances sont conformes à celle observées au niveau mondial. Ils traduisent une manifestation au niveau du territoire algérien du réchauffement global qui a démarré depuis les années 1970 ainsi que les perturbations dans le cycle des précipitations observée un peu partout dans le monde.

Comme conséquences, l'évolution des précipitations perturbera quant à elle les régimes hydrologiques moyens, principalement au travers d'une modification des volumes d'eau reçus ce qui aura à son tour un effet sur les débits des cours d'eau ainsi que sur les zones de rétention d'eau (les lacs, par exemple). Un autre effet consistera, lorsque les précipitations tomberont de manière irrégulière et abrupte (pluies torrentielles), en une accentuation des problèmes d'inondation et d'érosion des sols dans les milieux steppiques.

1.2. Evolution des températures maximales

Depuis des années, les températures de toutes les régions méditerranéennes enregistrent une nette tendance à l'augmentation. La région de Tiaret n'est pas épargnée par cette tendance.

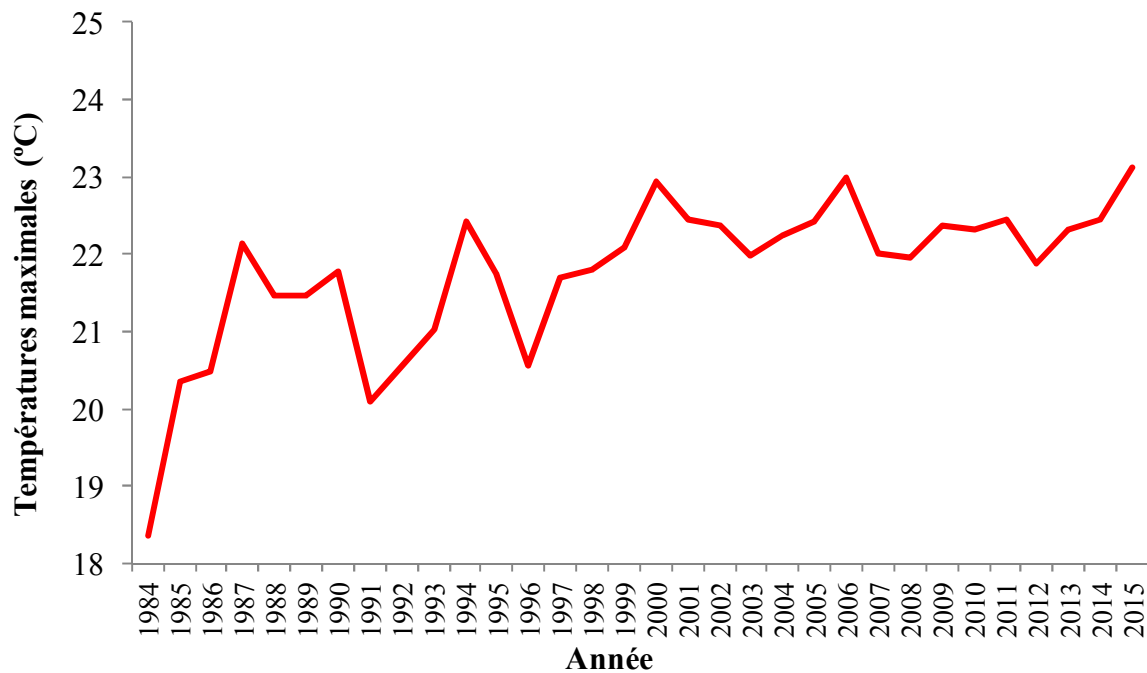


Figure 26. Evolution des températures maximales dans la région d'étude.

La figure 26 montre une nette tendance à la hausse des températures dès les années quatre-vingt avec une température maximale enregistrée en 2015, cette situation est conforme aux tendances confirmées par la 2^{ème} Communication Nationale de l'Algérie au titre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), qui mentionne une hausse de la température moyenne minimale et maximale enregistrée sur l'ensemble des stations de l'Algérie du Nord depuis les années soixante-dix et qui continue jusqu'à nos jours.

1.3. Evolution des températures minimales

L'analyse de la tendance des températures minimales permet de vérifier la tendance du climat et dégager les amplitudes thermiques. Ces températures sont surtout conditionnées par les températures hivernales.

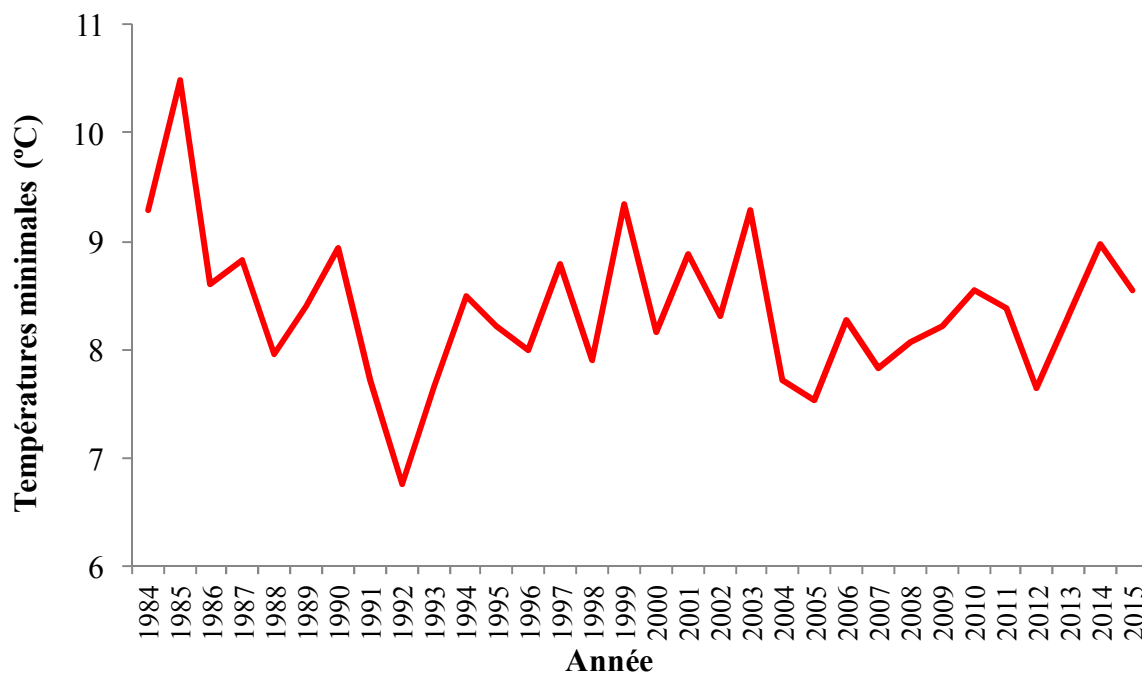


Figure 27. Evolution des températures minimales dans la région d'étude.

Le graphique ci-dessus fait ressortir une baisse des températures minimales en parallèle à une augmentation des maximales pour la même période avec un pic minimal pour l'année 1992. Cette évolution vers la baisse va aggraver encore les amplitudes thermiques assez grandes en période hivernale, caractéristique principale des milieux arides et désertiques (Le Houerou et al.1975).

1.4. Evolution des températures moyennes annuelles

Des variations importantes des températures moyennes annuelles peuvent également se produire, l'analyse de ce paramètre sur une période allant de 1984 à 2015 de la région de Tiaret va nous montrer la tendance au réchauffement.

Ainsi, la tendance observée durant la période considérée (Fig. 28) est marquée par une hausse thermique et montre aussi que la température moyenne annuelle a augmenté avec un pic constaté en 2015. La tendance d'ensemble sera au réchauffement du climat concernant l'Algérie.

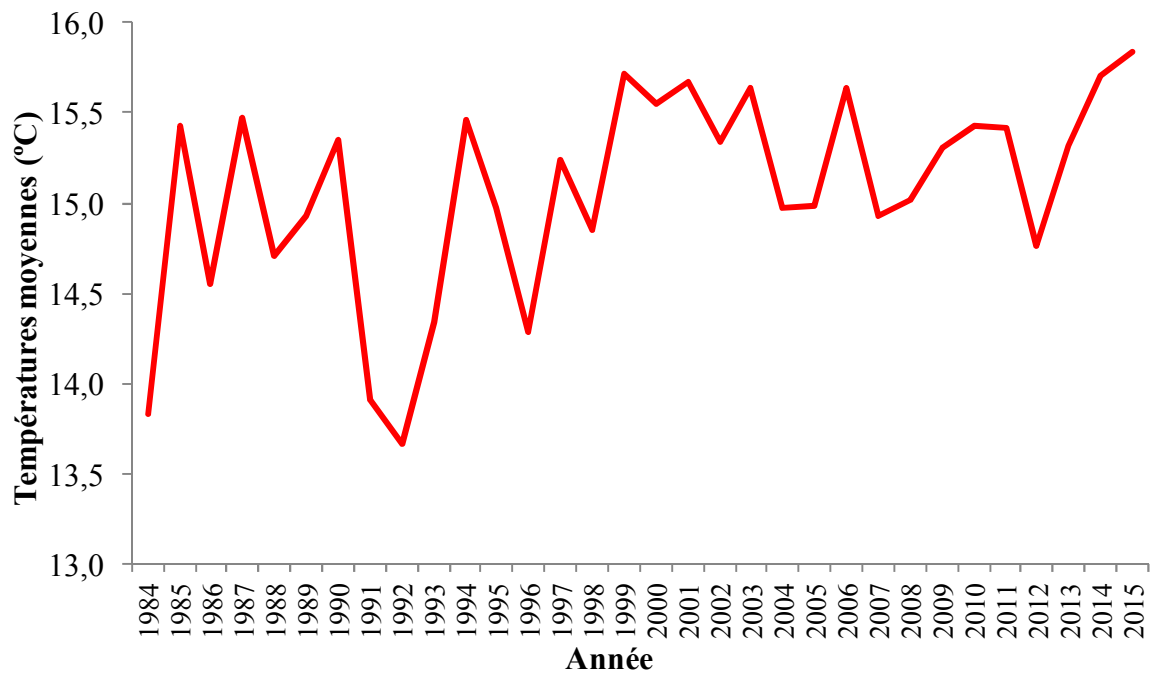


Figure 28. Evolution des températures moyennes annuelles dans la région d'étude.

Les projections climatiques saisonnières sur l'Algérie à l'horizon 2020 et 2050 sont obtenues par le modèle UKHI (United Kingdom Meteorological Office High Resolution) du GIEC avec les deux hypothèses haut et bas. Ces projections montrent que la saison d'hiver va connaître une augmentation de température de 0,9 à 1°C et une baisse moyenne des précipitations d'environ 5%. Le printemps se caractérise par une hausse de la température de 0,95 à 1,1°C avec un et une baisse moyenne des précipitations de 7 à 10%. La saison d'été connaîtra une hausse de la température de 0,95 à 1,45°C et une baisse moyenne des précipitations de 5%.

2. Indices climatiques

2.1. Indice de précipitations standardisé

L'illustration graphique de l'indice de précipitations standardisé, à partir de la série 1984-2015, a permis de mettre en évidence deux périodes bien distinctes ; la première étant sèche tandis que la seconde est plutôt humide (Fig. 29).

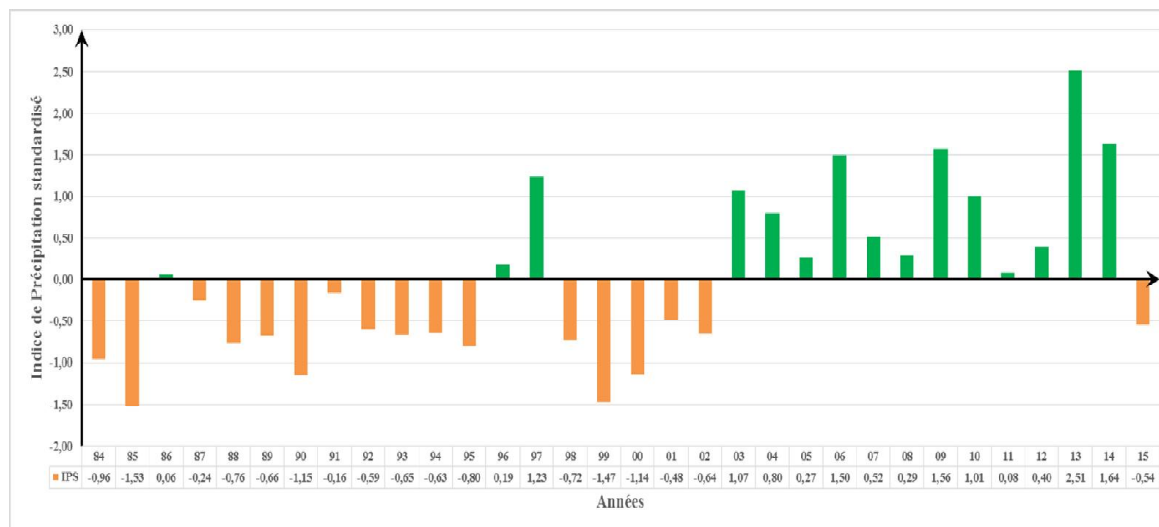


Figure 29. Indice de Précipitations Standardisé (SPI) durant la période 1984-2015.

Les trente-deux années d'observation, de la série pluviométrique 1984-2015, sont réparties en années sèches et en années humides en tenant compte des valeurs de l'indice de précipitations standardisé (tableau 2).

Tableau 3. Fréquences des années pluviométriques en fonction de l'Indice de Précipitations Standardisé (SPI)

Echelle SPI	Observation	Nombre d'années	Echelle SPI	Observation	Nombre d'années
$2 < SPI$	Humidité extrême	01	$0 < SPI < -0.99$	Sécheresse légère	13
$1.5 < SPI < 1.99$	Humidité sévère	03	$-1 < SPI < -1.49$	Sécheresse modérée	03
$1 < SPI < 1.49$	Humidité modérée	03	$-1.5 < SPI < -1.99$	Sécheresse sévère	01
$0 < SPI < 0.99$	Humidité légère	08	$SPI < -2$	Sécheresse extrême	00

La série pluviométrique 1984-2015 est caractérisée par treize années de sécheresse légère et huit ans d'humidité légère. L'année 1985 a connu une sécheresse sévère ($P_{mm} = 153,4$ mm) et l'année 2013 s'est manifestée par une humidité extrême avec une pluviométrie

de 662,2 mm. La série a aussi connu trois années chacune de sécheresse et d'humidité sévères. Il est à noter que la période 1984-2015 n'a pas connue de sécheresse extrême.

2.2. L'indice de déficit pluviométrique

L'indice de déficit pluviométrique a permis d'estimer la variation ponctuelle des précipitations par rapport à la normale. Le déficit le plus important enregistré durant toute la période d'observation est de $-55,7\%$ (figure 30). Le déficit pluviométrique s'est plus important, en nombre d'années successives, de 1984 à 1985, de 1987 à 1995 et de 1998 à 2002. La première phase de déficit pluviométrique s'est étalée sur neuf ans avec un taux maximal de $-41,8\%$. La seconde phase est marquée par cinq années de déficit pluviométrique et un taux maximal de $-53,5\%$. L'excès pluviométrique, pour cette série 1984-2002 est observé en 1986, 1996 et 1997 avec respectivement $0,2\%$, $0,7\%$ et $44,8\%$ (Fig. 30).

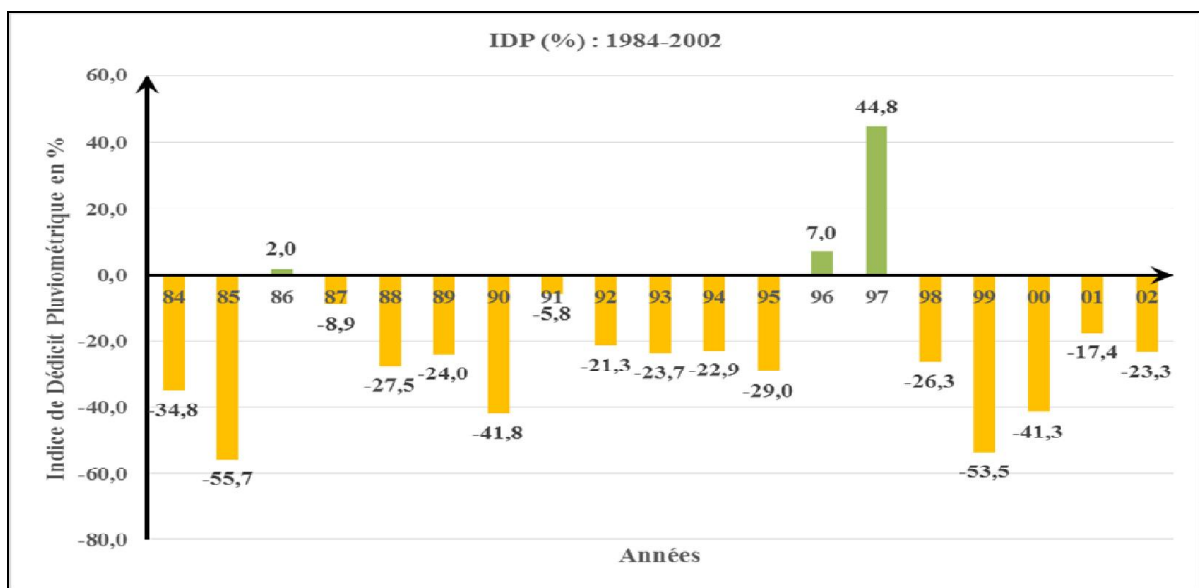


Figure 30. Indice de Déficit Pluviométrique (IDP %) durant la période 1984-2015.

L'analyse de la série pluviométrique montre nettement la variabilité interannuelle de la pluviométrie et sa tendance à la baisse, en plus d'une dispersion croissante dans le temps qui a pour origine la grande irrégularité des épisodes excédentaires et déficitaires (Tableau 2).

La période 1984-2015 a enregistré des tranches pluviométriques en dessous de la moyenne ($Pr\ moy = 342,6\text{ mm}$) durant une quinzaine d'années ; les dix-sept autres étaient plus ou moins humides. Elle s'est caractérisée respectivement par une sécheresse légère à modérée et une humidité légère à modérée. Elle est marquée par une période sèche de sept mois, une température minimale de $-3,2\text{ °C}$ et une température maximale de $37,2\text{ °C}$.

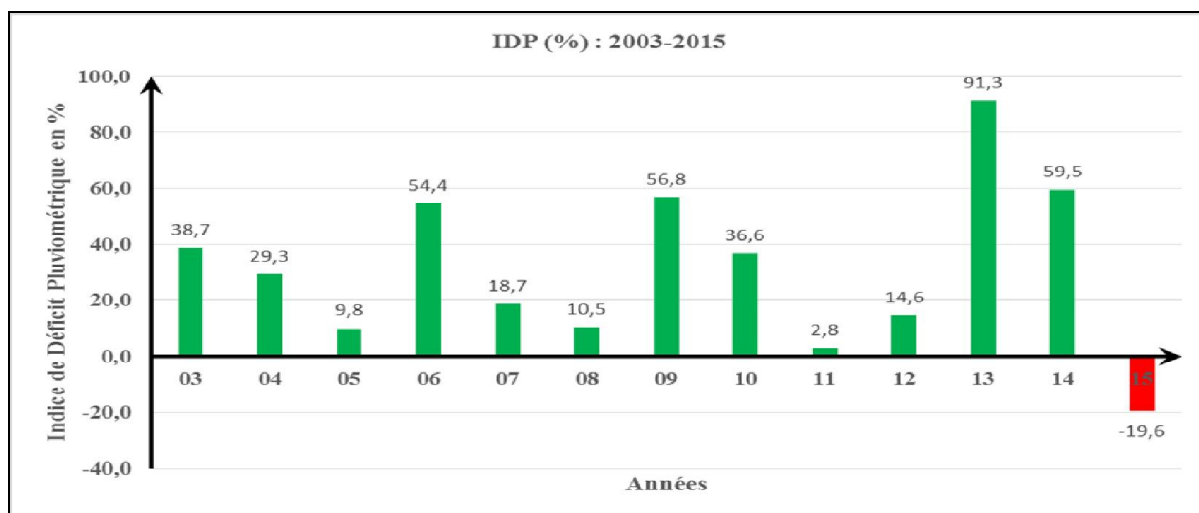


Figure 31. Indice de Déficit Pluviométrique (IDP %) durant la période 1984-2015.

Les treize dernières années de la série 1984-2015 se sont caractérisées par un excès pluviométrique maximal de 91,3% en 2013 (figure 31) ; l'année 2014 a totalisé un taux de 59,5%. L'excès pluviométrique s'est répandu sur toute la période d'observation mis à part l'année 2015 qui a enregistré un déficit pluviométrique de – 19,6%.

Les années humides, au nombre de douze, se sont réparties en deux groupes. Le premier groupe est formé de quatre années avec un excès pluviométrique de plus de 50% ; le deuxième s'est étalé sur huit ans avec des taux allant de 2,8% à 38,7%(figure 31).

2.3. Indice de pluviosité

Le graphique de l'évolution de l'indice de pluviosité a permis de constater que les épisodes de sécheresse de 1984 à 1995 et de 1998 à 2002 sont d'une intensité allant de légère à modérée (Figure 32). La succession des années humides ont fait suite à celle des années sèches depuis 2003 jusqu'à 2014.

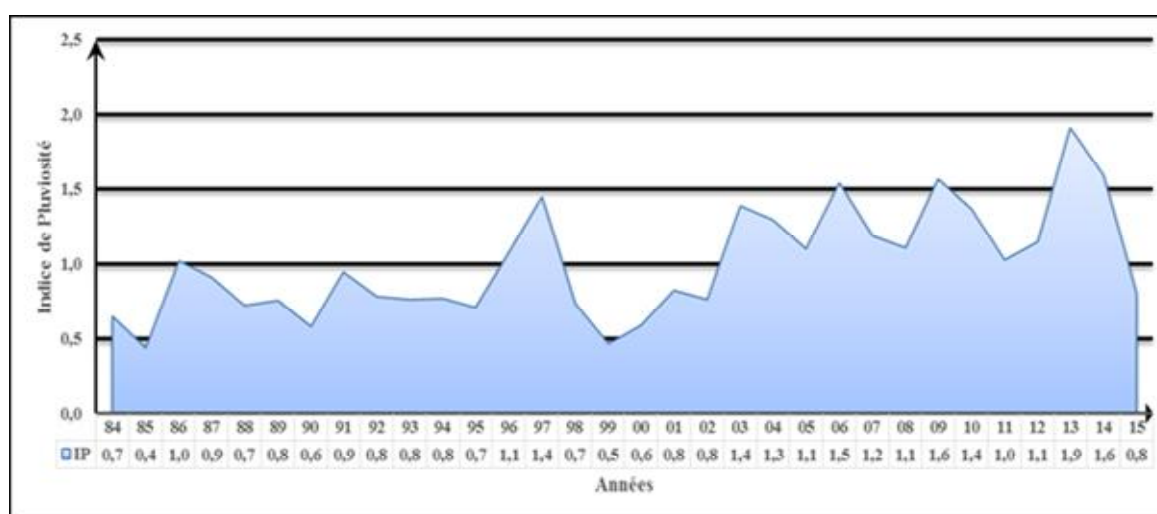


Figure 32. Indice de Pluviosité (IP) durant la période 1984-2015.

2.4. Indice de sécheresse

La détermination du niveau de sévérité des sécheresses vécues est effectuée par le calcul de l'indice de l'écart à la moyenne. L'analyse de la figure 5 a rendu encore possible la confirmation d'une sécheresse légère à modérée observée dans la série pluviométrique 1984-2015.

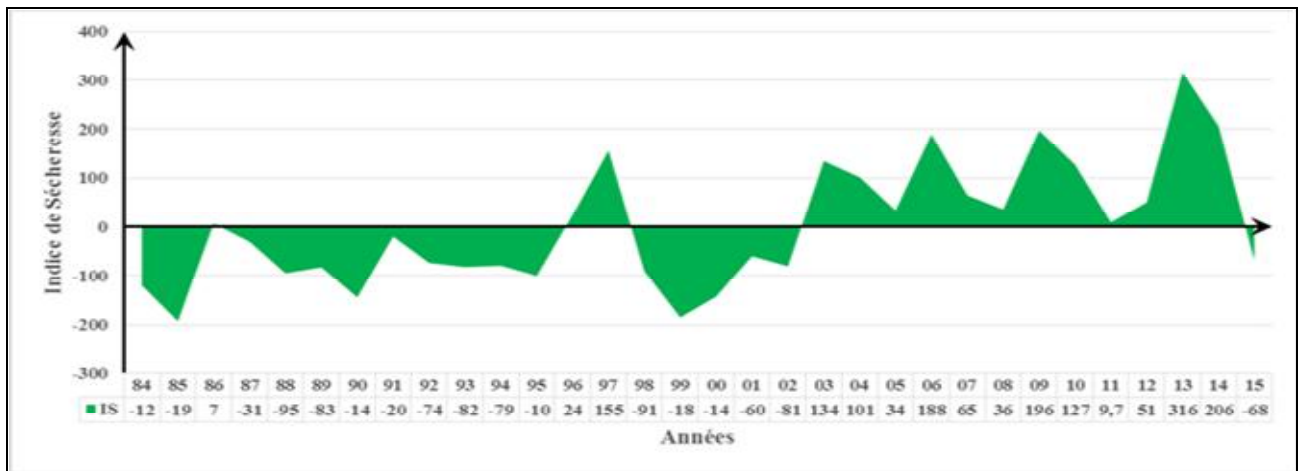


Figure 33. Indice de Sécheresse durant la période 1984-2015.

Les épisodes de sécheresse sont de plus en plus longues où elles s'étalent sur neuf à dix années consécutives. La répétition des années sèches s'est accélérée et la longévité de la période sèche également (figure 33).

Les conditions climatiques de l'Algérie du Nord se caractérisent par des pluies concentrées sur la saison fraîche à jours courts avec de longues sécheresses estivales (Seltzer, 1946 ; Emberger, 1955). Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat (Le Houerou et al. 1977).

En écosystème steppique, défini comme la portion du territoire national délimité au Nord par l'isohyète 400 mm et au Sud par l'isohyète 100 mm, les fluctuations des précipitations sont sévères. Certaines années sont très déficitaires en pluviométries tandis que d'autres sont humides.

L'analyse des précipitations, par des indices, a montré, qu'après les déficits pluviométriques de la période 1984-1995, une phase beaucoup plus humide est en train de se manifester. Les signes de changements se sont apparues dans la production céréalière enregistrée entre 2003 et 2014. L'alternance brutale des années sèches et humides, observée au sahel, a tendance à s'installer dans les pays du Maghreb dont l'Algérie (Abdou, 2010 ; Dieppois et al. 2010 ; Nouaceur et al, 2013).

Les résultats obtenus pour la région de Tiaret de l'Algérie occidentale ont mis en évidence en plus des deux périodes caractéristiques sèches (1984-2002) et humides (2003-2014), des courtes périodes pluviométriques excédentaires ou déficitaires sur la série

pluviométrique 1984-2015. Les épisodes de sécheresse de 1984 et 1995 sont aussi observées dans la steppe du Sud de Tlemcen (Benabadji et Bouazza, 2000).

L'évolution des pluies est marquée de particularités bien distinctes. L'analyse des données climatiques enregistrées sur trente-deux années montre l'amorce de nouvelles conditions pluviométriques en opposition avec les périodes de sécheresse passées (Nouaceur, 2011). Cette constatation va dans le sens d'une augmentation de la fréquence des pluies intenses qui ont vraisemblablement un effet moindre sur la recharge des nappes phréatiques que sur l'amplification du ruissellement sur les versants, des crues et des inondations (Medjerab, 2007).

3. Corrélation climat-végétation

Les changements du climat prononcés dans la région agissent significativement sur la répartition des biotopes entre autre sur la dynamique de la végétation notamment celle de la steppe. Les tendances observées dans la précipitation et les températures ont été mises en corrélation avec la dynamique spatiale et temporelle des nappes alfatières dans la région d'étude. Les résultats obtenus ainsi que les enquêtes élaborées sur le terrain lors des sorties confirment la forte relation entre la dynamique des steppes à Alfa et le changement du climat qui, en plus de l'action tropique non négligeable, ses variables constituent un facteur limitant de la survie et la propagation de l'espèce dans la région considérée.

3. Analyse de la végétation

La steppe algérienne est confrontée depuis plusieurs décennies à un problème de dégradation induit par l'effet combiné de facteurs anthropiques et naturels.

Les steppes algériennes connaissent de sérieuses modifications depuis plus d'un siècle ; la mer d'alfa décrite par de nombreux explorateurs aux XIXe et XXe siècles, ne figure plus que dans les archives (Moulay et al.2011).

En Algérie, les steppes à alfa occupaient environ 70 % de la surface des hautes plaines steppiques (Cosson 1853 ; Charrier 1873).

La situation des nappes alfatières de la région de Tiaret est soumise elle aussi aux mêmes pressions anthropiques et naturelles réduisant sa superficie et sa représentativité dans les espaces steppiques.

La carte d'occupation des surfaces alfatières établie par le gouvernement général algérien (GGA) en 1921 durant l'époque coloniale montre que l'alfa occupait de vastes étendues dans les régions Sud de Tiaret et représentait un support d'une activité socio-économique et pastorale en plus de sa valeur économique (Fig. 34)

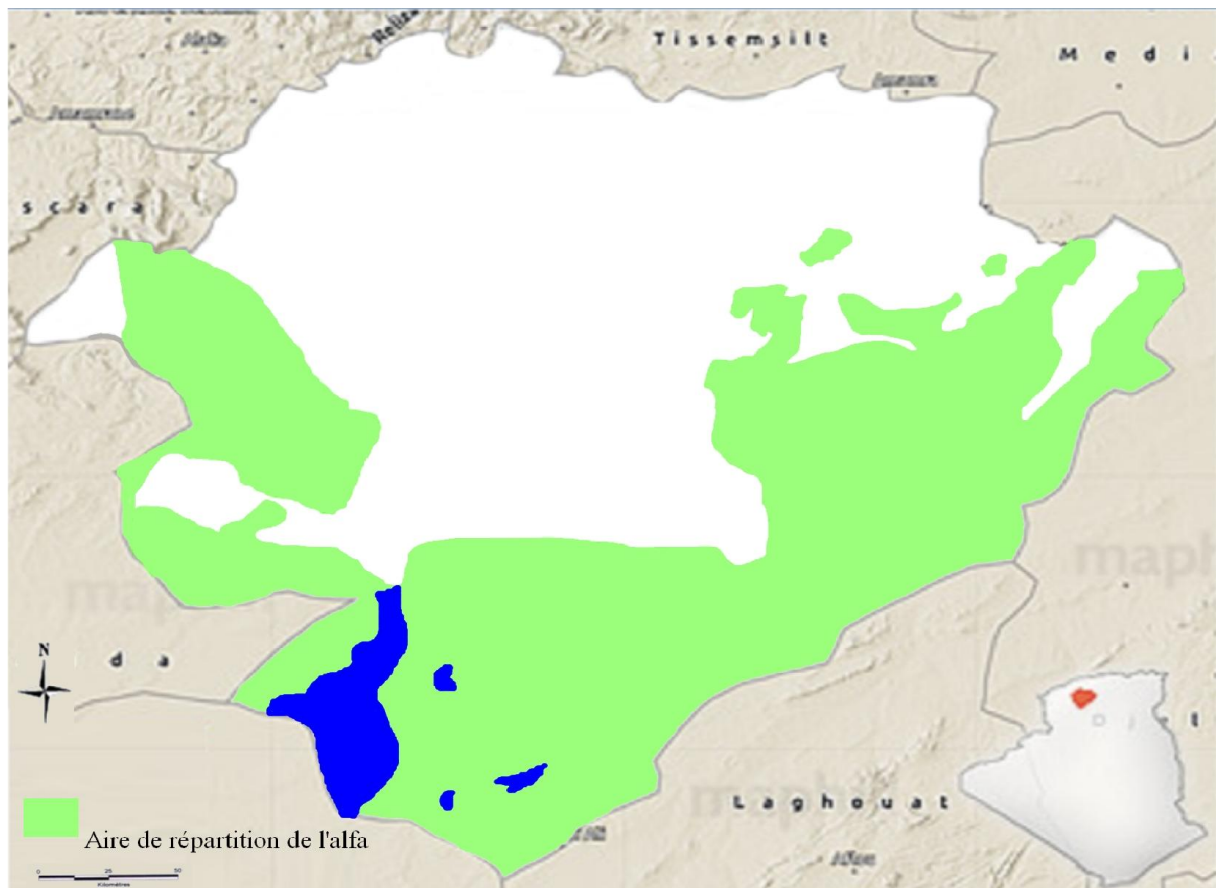


Figure 34. Carte de l'occupation Alfatière de la région d'étude en 1921 (GGA 1921)

Les formations alfatières de la région de Tiaret ne sont pas épargnées par le changement des régimes des précipitations qui affecte toute la rive Sud de la méditerranée et suit une

tendance régressive liée au déficit pluviométrique que connaît la région depuis trois décennies.

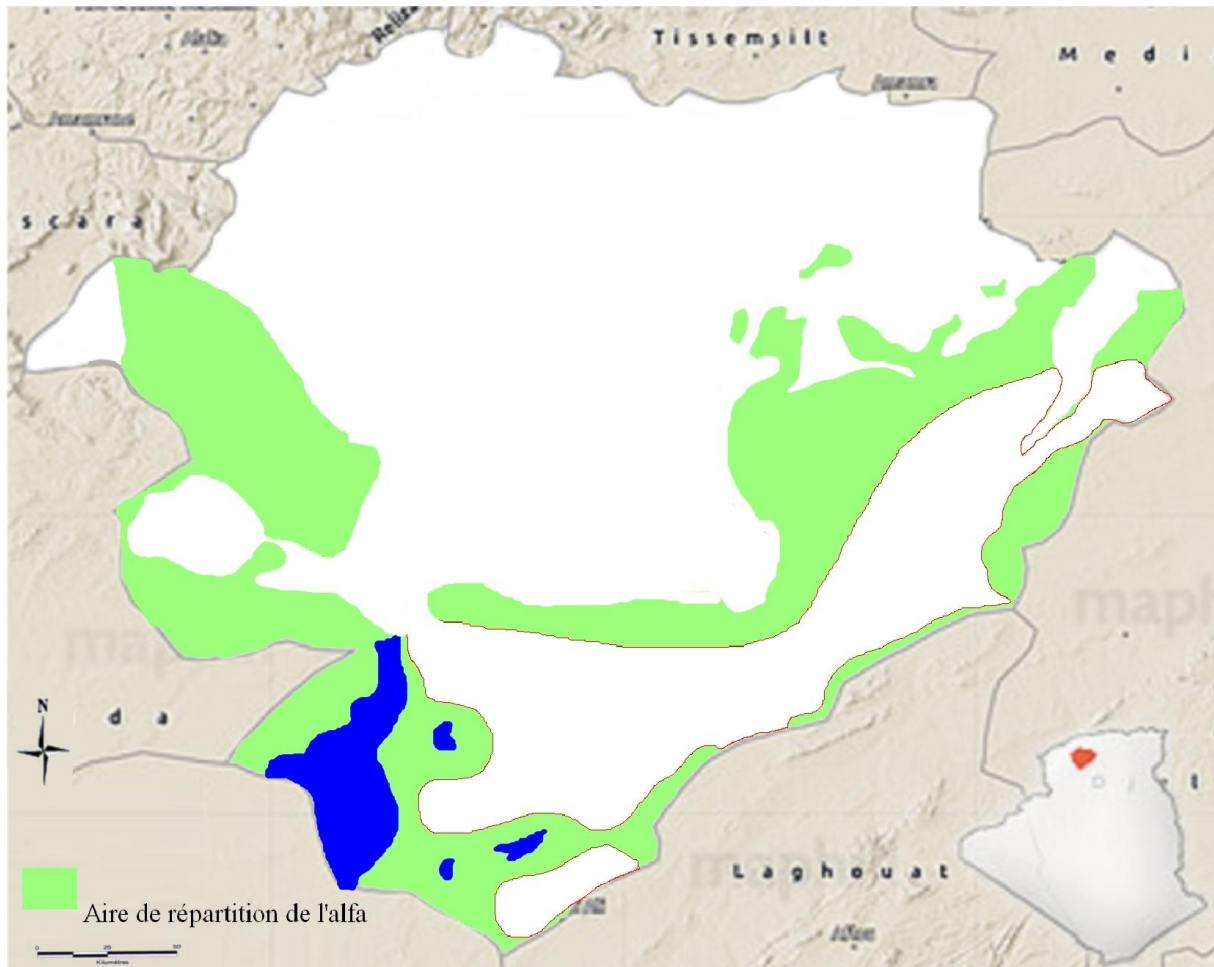


Figure 35. Carte de l'occupation Alfatière de la région d'étude en 2010 (BNEDER 2010)

En effet les surfaces alfatières ont fortement diminué et ne représentent que 10% de toute la superficie de la steppe soit 219890.52 hectares (BNEDER, 2012) alors qu'elles représentaient ha 332 938 ha au milieu des années 2000 (DSA 2008),

L'analyse des régimes pluviométriques et des températures montre que la région de Tiaret a connu des perturbations climatiques qui sont une cause importante de la vulnérabilité de ces milieux déjà très sensibles.

Cette tendance à l'aridité des milieux steppiques est confirmée par les travaux de Djellouli et Nedjraoui (1995) ; Hirche et al. (2007) qui ont constaté une diminution notable des précipitations de l'ordre de 18 à 27%, avec parfois plusieurs années consécutives de sécheresse. La plus part des travaux de recherches sur la dynamique de l'alfa ont confirmé la régression spectaculaire de ses superficies (Nedjraoui, 1981; Djebaili, 1984; Le Houerou, 1995; Aidoud et Touffet, 1996; Abdelguerfi et Laouar,1996; Kadi Hanifi et Achour, 2000;

Bensaid et Smahi, 2003 ;Ghezlaoui,2011 ; Meziane, 2012);(Merioua, 2014 et Babali,2014 ; Benguerai et Benabdeli,2015).

Dans des travaux portant sur la dynamique de *stipa tenacissima* Aidoud, (1994) montre que la couverture de l'Alfa est passée de 40 à 13% entre 1976-1977 et 1990-1991.

Par ailleurs,Slimani et al.(2010) analysant la dynamique l' Alfa ont montré que *Stipa tenacissima* ne présente plus que 14% du total des steppes occidentales alors qu'elles en totalisaient 83 % en 1978. De même, les formations à armoise blanche sont en voie de disparition, moins de 1% au lieu de 8.5 % alors que l'alfa qui occupait 35 % du recouvrement global atteint à peine 9.45 % et ne se cantonne plus que sur les versants ainsi, l'écosystème steppique présente une vulnérabilité très importante aussi bien sur le plan quantitatif que qualitatif. Le suivi de la végétation entre 1978 et 2005 a montré une diminution de la richesse floristique de près de 60%.

Mahyou et al. 2005 ont montré que les steppes à armoise blanche ont quasiment disparu et les steppes alfatières ont subi des pertes annuelles moyennes de 2.7 %.Cette tendance est confirmée par les productions moyennes des steppes alfatières citées par plusieurs auteurs à différentes périodes (; Berkat et al. 1990 ; Ghazi, 2003 ; Maatougui et al., 2005).

Selon Aïdoud et al. (2006) avant 1990, la variabilité de la production de l'alfa était normale et suivait celle de la pluviométrie. À partir de 1990, on observe que la production diminue malgré des années pluvieuses. Cette tendance régressive débouchera, à terme, sur des steppes à faible couvert végétal et à faible potentialité qualitative et quantitative. Ce type d'évolution a été noté ailleurs, comme conséquence de la dégradation des espèces pérennes.

Tableau 4. Répartition des superficies des nappes alfatières par classe de précipitations (ha).

	Superficies (ha)		Steppe a Alfa
	Wilaya	Steppe	
Superficies	2 011 390	981 226.04	219 890.52

Le recouvrement global aérien est généralement inférieur à 10 % dans la plupart des parcours.L'apport des parcours à *Stipa tenacissima L.* dans le bilan fourrager du cheptel s'est fortement réduit, passant de 37% à 21 % entre les périodes 1989 à 1992 et 2000 à 2003 (Boulanouar et al., 2006).

L'évolution régressive de la steppe à alfa (*Stipa tenacissima*) se traduit par des stades où cette espèce climacique est remplacée par le sparte (*Lygeum spartum*) et par d'autres espèces de dégradation telles que *Atractylis serratuloides*, *Peganum harmala* et *Noaea mucronata* traduisant la régression de l'Alfa par le surpâturage.

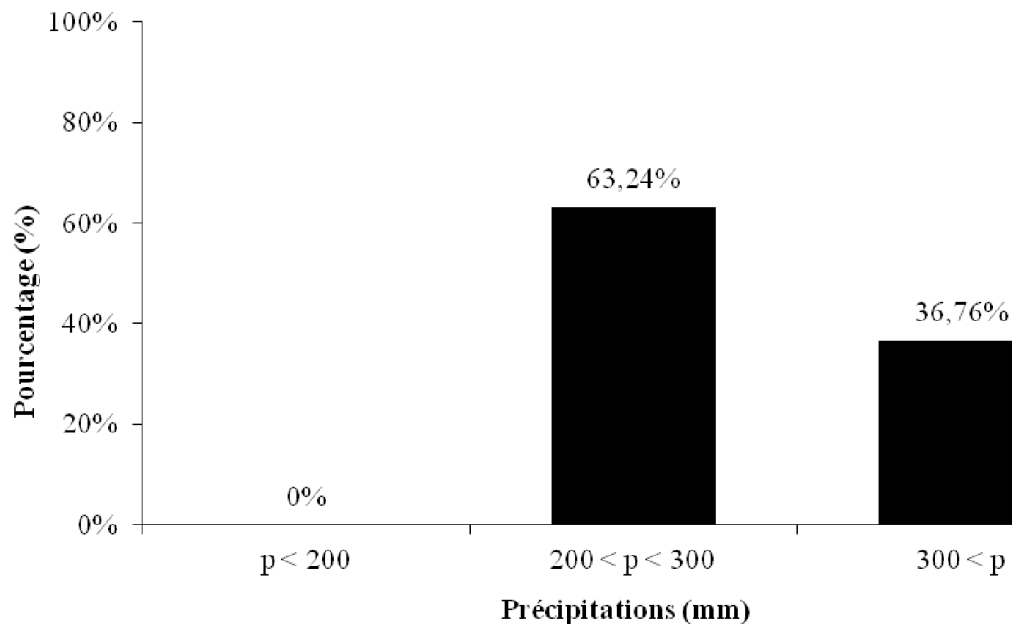


Figure 36. Répartition des superficies des nappes alfatières par classe de précipitations (ha).

La superficie steppique représente 48.78% de l'étendue de la wilaya avec une superficie de 981 226.04 hectares, dont la steppe à alfa y représente une proportion de 10.93% soit une superficie de 219 890.52 hectares.

Tableau 5. Répartition des superficies des nappes alfatières par unité géomorphologique (ha).

Zone	Répartition de la nappe Alfatière par unité géomorphologique (ha)						Total
	Colline	Dépression	Djebel	Dune	Piémont	Plateau	
Superficies	1545.12	2035.80	54435.00	752.24	58830.63	102318.73	218345.40

Les nappes alfatières présentes dans la région d'étude occupent une superficie de 219 890.52 hectares. Elles sont sujettes en totalité à des précipitations supérieures à 200 mm/an ce qui est en principe favorable aux besoins de la plante pour assurer son développement (les exigences sont entre 200 et 400 mm). On estime près de 36.76% de la superficie des nappes alfatières sont couvertes par des précipitations supérieurs à 300 mm/an alors que 63.24% sont sujettes aux précipitations comprises entre 200 et 300 mm/an.

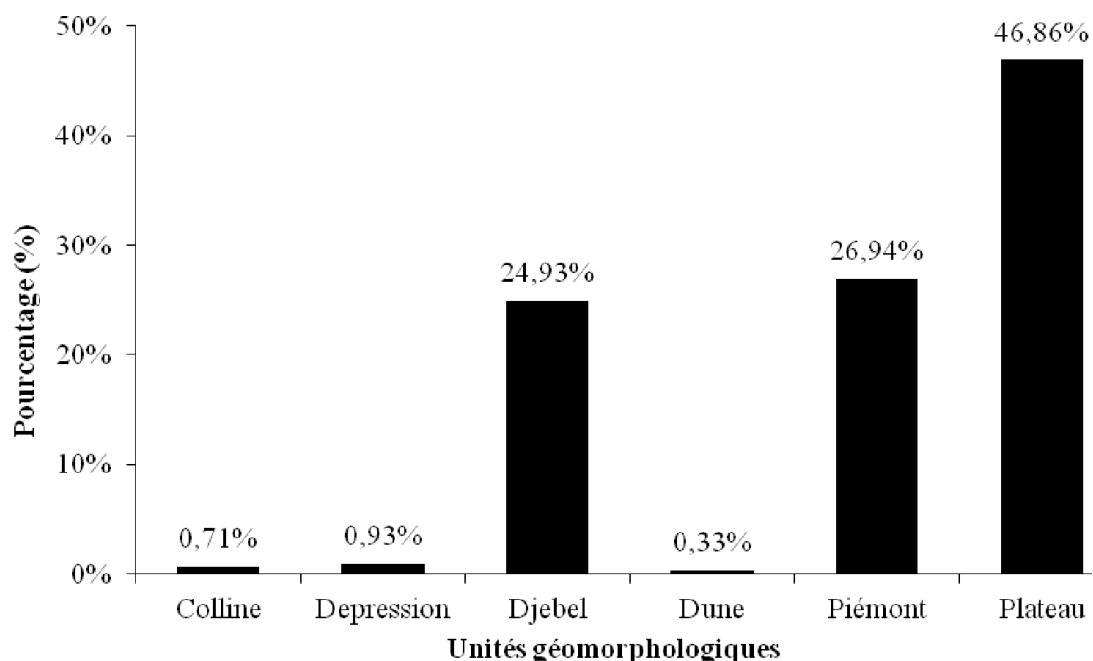


Figure 37. Répartition des superficies des nappes alfatières par unité géomorphologique (ha).

Les nappes d'alfa se concentrent près de 98.04% sur trois unités géomorphologiques dont la prédominance est enregistrée en régions de plateaux avec 46.53% de la superficie totale, suivie des régions de piémonts et de Djebel avec 26.75%, 24.75% soit des superficies respectives de 102 318.73 ha, 58 830.63 ha et 54 435 ha.

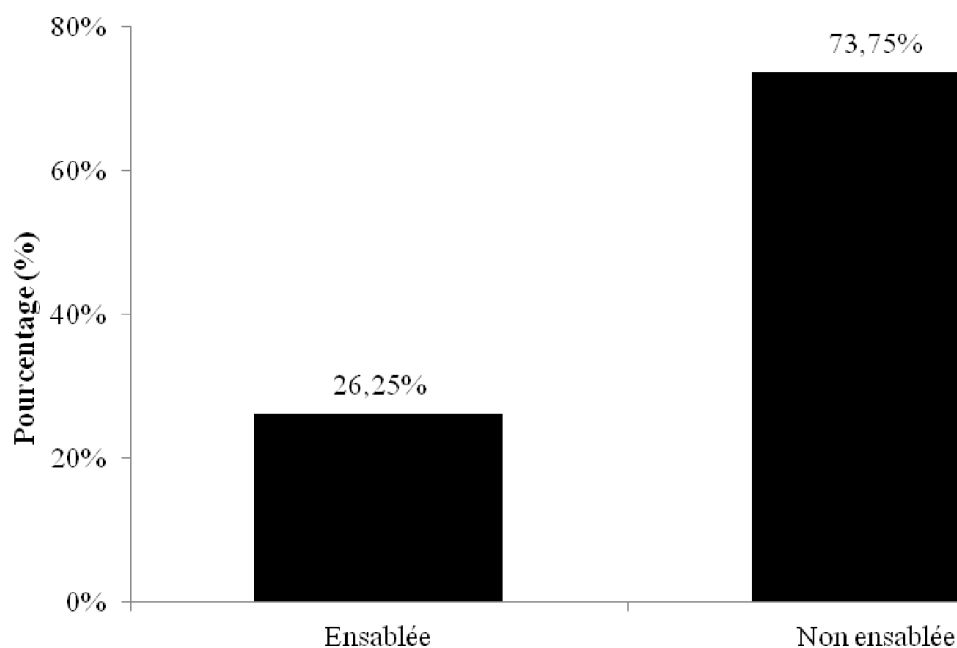


Figure 38. Répartition des superficies des nappes alfatières par type d'ensablement (ha).

Les nappes alfatières sont réparties en plusieurs unités géomorphologiques dans le Sud de la région de Tiaret. Les nappes les plus dominantes couvrent un taux de 46.86% de la

surface alfatière totale dans les plateaux. Ces nappes couvrent également en grandes surfaces les piémonts (26.94%) et Djebel (24.93%), proportion non moins importantes que la première.

Plus du quart de la nappe est située en zone sableuse, cette situation constitue un indicateur d'une importance capital quant à l'avenir de celle-ci sur le plan environnemental (désertification).

L'état de recouvrement de l'étendu global de la nappes Alfatières de la wilaya est dégradé dans un état très avancé. L'observation a montré que l'état de recouvrement de l'Alfa est une fonction du relief ainsi qu'aux contraintes rencontrées dans l'environnement considéré.

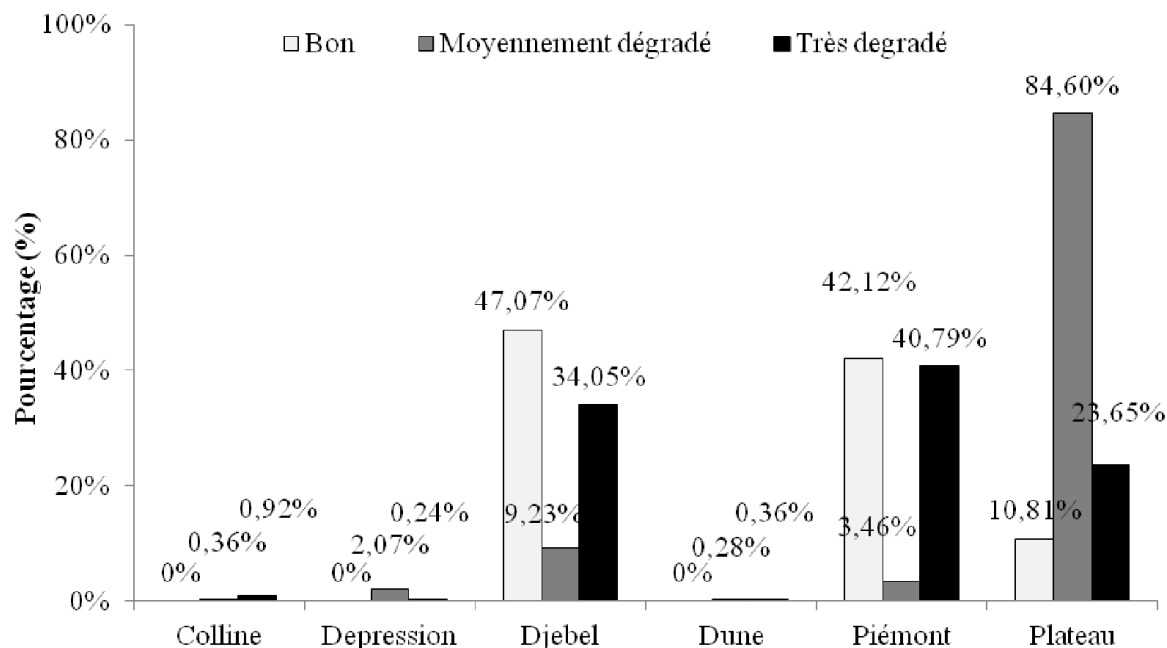


Figure 39. Superficiés de recouvrement par unité géomorphologique.

L'état de dégradation des nappes est prédominant en particulier dans les zones de plateaux puis dans les zones de piémont et des djebels. Cette situation est due probablement au surpâturage, aux incinérations ainsi qu'à l'érosion très fréquente dans ces régions fragiles.

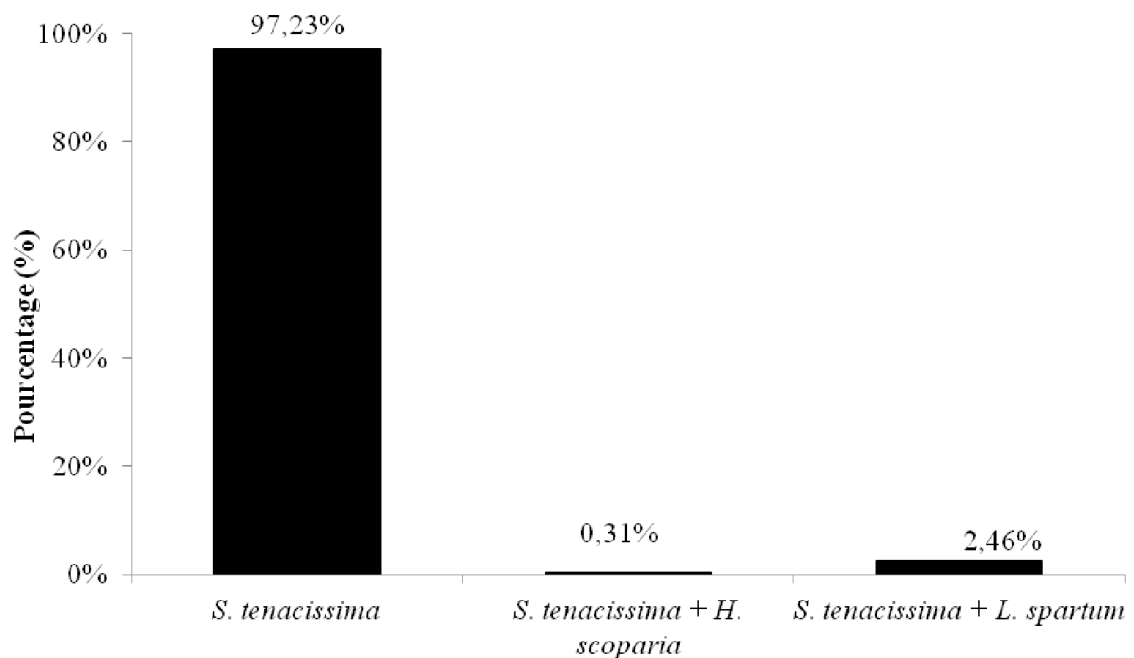


Figure 40. Superficies de recouvrement de l'Alfa par type de faciès.

L'alfa pure est la formation prédominante à 97.23%, contre 2.46% en association avec le *Lygum spartum* et à 0.31% avec *H.scoparia*

L'association de l'alfa avec ces espèces qui sont tolérantes a la salinité des sols, est un indicateur de dégradation des nappes, phénomène auquel la plus grande attention doit être accordée.

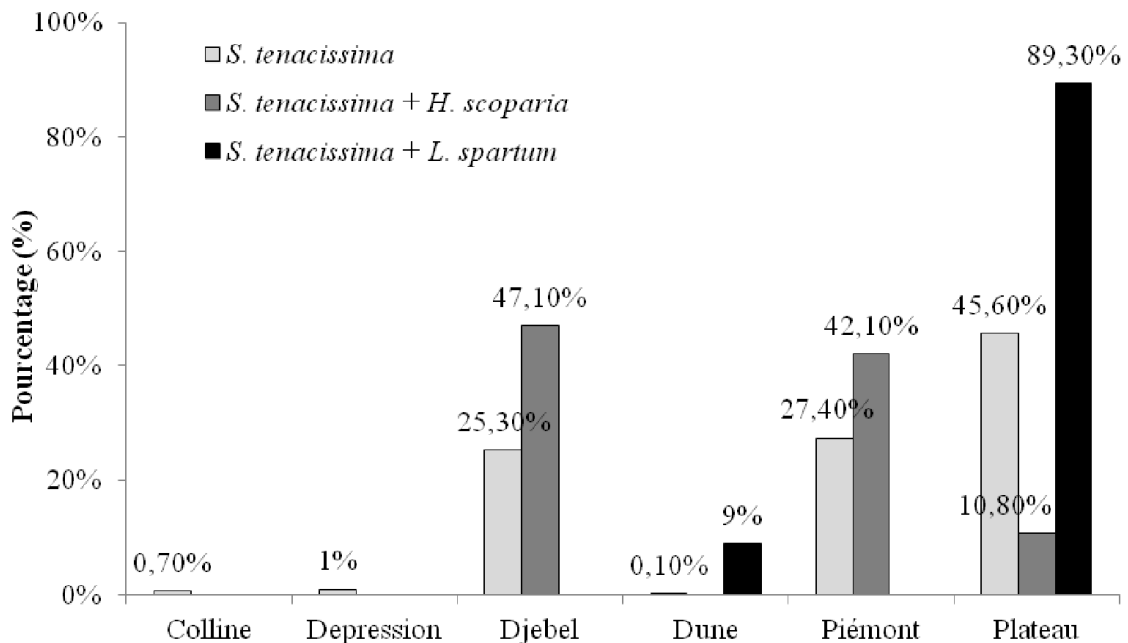


Figure 41. Répartition des nappes alfatières par faciès et par unité géomorphologique (ha).

L'Alfa en formation pure est représentée en prédominance au niveau des plateaux avec 45.6%, suivie des piémonts et des djebels avec respectivement 27.4% et 25.3%. l'alfa en

association avec *H.scoparia*, la prédominance est enregistrée au niveau des djebels avec 47.1 % avec le *Lygum qpartum* elle prédomine au niveau des plateaux avec 89.3%.

L'affectation des nappes alfatières est issue à partir de la conjugaison des divers critères cités dans les chapitre précédents tels la pluviométrie, l'état de recouvrement, le relief, la présence des voiles sableux, la phytomasse.

Pour cela, nous avons pris comme constante le facteur climat dont les précipitations varient peu puisque presque la totalité (93% de la superficie des nappes alfatières) se situe dans une isohyète supérieure a 200 mm/an (favorable au développement de l'alfa).

Les autres critères, le relief, l'état de recouvrement, la désertification, la faciès, constituent des variables.

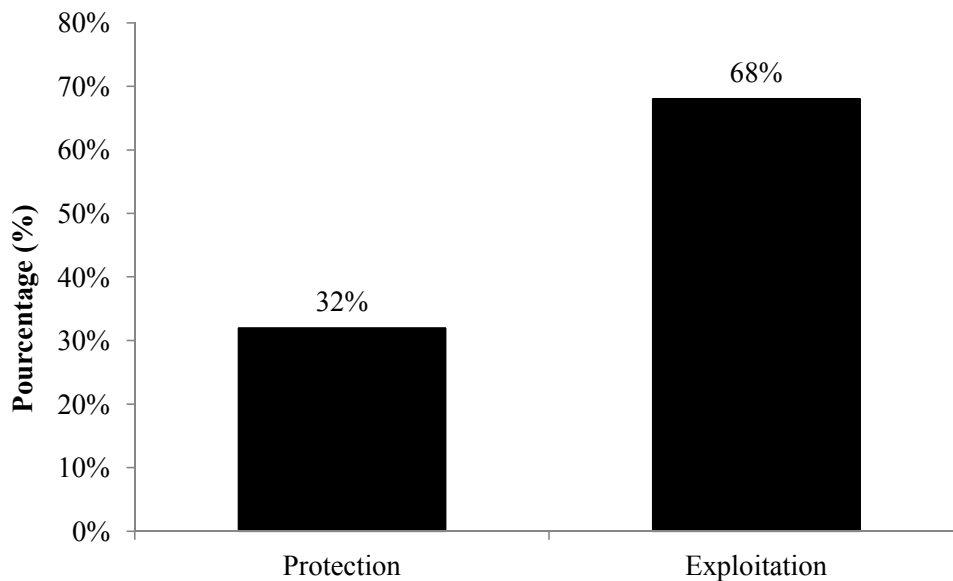


Figure 42. Affectation des superficies alfatières

L'affectation des nappes alfatières de la wilaya fait ressortir 32.27% pour un rôle de protection et 67.73% pour un rôle d'exploitation.

La nappe Alfatière à rôle de protection d'une superficie globale de 70964.46 ha à 81.33% en zone sableuse, ou les précipitations sont supérieurs à 200mm/an, est représentées en prédominance en zone de plateaux avec 77.39%, suivie de la zone de djebels avec 18.80%.

Les nappes alfatières à rôle d'exploitation sont caractérisées par la prédominance de celle à reconstituée avec 79.07% de son étendu ; la nappes exploitable est à 20.47% à utilisation mixte, une proportion insignifiante de 0.46% est à potentiel de production moyen.

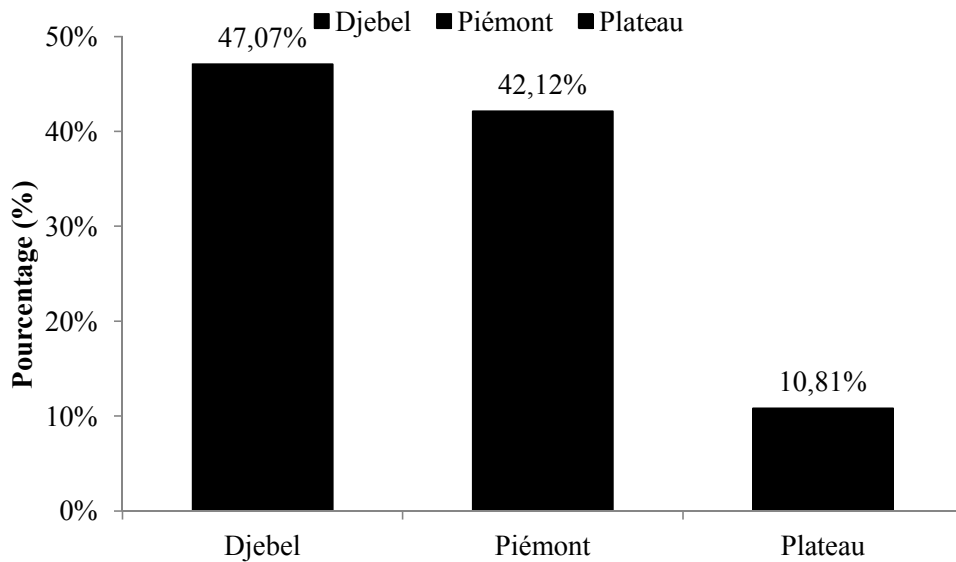


Figure 43. Le potentiel de production moyen des nappes Alfatières

La nappe alfatières à potentiel de production moyen d'une superficie de 679.54 hectares, ou les précipitations sont supérieures à 200mm/an, est répartie sur trois principales unités géomorphologiques : 47.07% en zone de djebel, 42.12 en zone de piémonts, et 10.81 % en zone de plateaux.

Les nappes Alfatières à utilisation mixte d'une superficie de 30491.11ha, ou les précipitations sont supérieures à 200 mm/an, est représentée à 64.62% en zone de plateaux soit la prédominance, à 24.73% en zone de djebel et à 8.72% en zone de piémonts.

Conclusion

Conclusion

Les changements climatiques sont devenus plus contraignants bien que l'élévation des températures moyennes et le changement des régimes de précipitations provoquent des modifications drastiques du contexte écologique. Ces changements de l'écosystème, signalés dans les zones du bassin méditerranéen constituent un facteur limitant pour la biodiversité végétale notamment pour les plantes qui poussent dans les milieux fragiles.

Toutefois, parmi les environnements vulnérables, l'écosystème steppique en Algérie déjà marqué par l'agressivité climatique a connu une dégradation spectaculaire qui s'est traduite par la réduction du potentiel biologique et la rupture des équilibres écologique et socio-économique. Notamment, les steppes à Alfa (*Stipa tenacissima* L.) connaissent également de sérieuses modifications durant les dernières décennies. Divers facteurs, en particulier l'anthropisation et les aléas climatiques, sont responsables de la régression des nappes alfatières et de leurs superficies.

La présente étude a pour but de suivre la variabilité du climat parallèlement avec l'évolution des espaces alfatières dans la région Sud de Tiaret dans le contexte du changement climatique. L'évolution du climat a été déterminé par l'analyse des séries chronologiques des températures minimales et maximales ainsi que celles des précipitations durant la période allant de 1984 jusqu'à 2015 puis par l'élaboration d'un certain nombre d'indices bioclimatiques associés mettant en exergue le point sur l'ampleur de l'aridité et la sécheresse dans la région. Cependant, l'analyse de la dynamique des nappes alfatières a été appréhendée à travers une étude diachronique des cartes d'occupation d'alfa et des statistiques associées établies en deux périodes l'une en 1921 alors que l'autre en 2010.

L'analyse de la variabilité du climat a montré la présence de plusieurs séquences sèches dans la région marquées par la diminution des précipitations et l'augmentation de la température. Cependant, la tendance observée durant la dernière décennie indique le retour vers une période humide très marquée. Les indices bio-climatologiques ont permis de déceler le caractère sévère et durable de la sécheresse climatique observée à partir de l'an 1984 jusqu'à 2002.

Les variables du climat et les indices bioclimatiques dérivés ont été fortement corrélée avec l'évolution des nappes alfatières dans la région. Avantageusement, l'aire de répartition de l'alfa se trouve sous l'influence d'un régime de précipitations supérieur à 200 mm par an ce qui est en principe favorable à son développement.

L'étude de l'évolution des nappes alfatières révèle une dynamique spatiale intéressante et confirment l'évolution régressive de l'espèce. Les observations ont montré qu'au siècle dernier, plus de 70% des nappes alfatières ont disparu. Ainsi, les surfaces alfatières ne

représentent actuellement que 10% de toute la superficie de la steppe soit 219 890.52 hectares. En plus, les nappes alfatières estimées en bon état se trouve généralement dans les unités géomorphologiques montagnardes contre une diminution très marquée de leur répartition dans les plaines.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Addison J, Friedel M, Brown C, Davies J, Waldron S (2012)** A critical review of degradation assumptions applied to Mongolia's Gobi Desert. *Rangel J* 34(2):125–137
- Aïdoud A, Slimani H, Rozé F. 2011** : La surveillance à long terme des écosystèmes arides méditerranéens : quels enseignements pour la restauration ? Cas d'une steppe d'alfa (*Stipa tenacissima* L.) en Algérie. *Ecologia Mediterranea*, 37 (2), pp : 685-691
- Aïdoud A., Le Floc'h E., Le Houérou H. N., 2006.** Les steppes arides du nord de l'Afrique. *Sécheresse*, 17: 19-30.
- Aidoud, A., 2001** Changements de végétation et changement d'usage dans parcours steppiques d'Algérie. Département d'Ecologie Végétale, Université de Rennes 1, Beaulieu Rennes (France).
- Aïdoud A., Slimani H., Rozé F., 2011.** La surveillance à long terme des écosystèmes arides méditerranéens : quels enseignements pour la restauration ? Cas d'une steppe d'Alfa (*Stipa tenacissima* L.) en Algérie ; *ecologia mediterranea*– Vol. 37 (2) Numéro spécial.
- Alexandre M, Benjamin G, Raphaël B, François G, Iddri S H. (2009).** La Méditerranée au futur : des impacts du changement climatique aux enjeux de l'adaptation CIRED-Météo France, p 21-23.
- Amat Martínez Beatriz, 2015,** dynamics of woody vegetation patches in semiarid ecosystems in the southeast of the Iberian Peninsula .thes Doc pp: 1 Alicante University
- Barber, A., Cabrera, M. R. y Guardiola, I. 1997.** Sobre la cultura de l'espart al territori valencià. Fundació Bancaixa. 252 pp.
- Barber, A., Cabrera, M. R. y Guardiola, I. 1997.** Sobre la cultura de l'espart al territori valencià. Fundació Bancaixa. 252 pp.
- Bayarjargal Y., Karnieli Bayasgalan A., Khudulmur M., Ganush S. C., Tucker C. J. (2006).** A comparative study of NOAA AVHRR derived drought indices using change vector analysis. *Remote Sensing Environment*, 105, 9-22.
- Beaudin I. (2007).** Potentiel de la télédétection pour le suivi et la caractérisation des conditions de sécheresse en milieu méditerranéen. Rapport de Maîtrise en Sciences Géomatiques, Université Laval, 233p.

- Beck HE, McVicar TR, van Dijk A, Schellekens J, de Jeu R A, Bruijnzeel L A (2011)** Global evaluation of four AVHRR–NDVI data sets: Intercomparison and assessment against Landsat imagery. *Remote Sens Environ* 115(10):2547–2563
- Benabadji N, Aboura R, Benchouk F. 2009.** La régression des steppes méditerranéennes: le cas d'un faciès à *Lygeum spartum* L. d'Oranie (Algérie). *Revue. Ecologia mediterranea*, (25)75-90.
- Benguerai Abdelkader and Benabdeli Khéloufi ,2015** Diachronic evaluation of the physiognomical changes of the steppe vegetation of the area of Naâma (western Algeria) face anthropogenic pressures using remote sensing and GIS journal of Chemical and Pharmaceutical Research 7(11):398-405
- Benmahmoud.K.A .2012.**Espaces sub-arides 40 ans de gestion traditionnelle et projet de développement (Analyse de 1970 à 2010) Cas de la Wilaya de Tebessa Thèse de doct .Univ. Mentouri de Constantine
- Byun H. R., Wilhite D.A. (1999).** Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*,12, 2747-2756.
- Charrier, 1873.**L'Alfa des hauts plateaux de l'Algérie... (Extrait des rapports de M. le chef de bataillon .54p
- Costa, M. 1973.** Datos ecológicos y fitosociológicos sobre los espartales de la provincia de Madrid. *Anales del Instituto Botánico Cavanilles*30: 233-255.
- Djebaili S. 1988.** Connaissances actuelles sur l'alfa (*Stipa tenacissima*L.): autoécologie, phénologie, productivité et valeur nutritive. *Biocénoses*3: 43-53.
- Djellouli Y, Daget P.1993 .**Conséquences de la sécheresse des deux dernières décennies sur les écosystèmes naturels algériens.Pub Assoc InternClimatol ; 6 : 105-14
- Djellouli Y., 1990.-** Flores et climats en Algérie septentrionale. Déterminismes climatiques de la répartition des plantes. Thèse Doct. Sciences, USTHB., Alger, 210.
- Dregne H.E., 1984.** "Combatting desertification: evaluation of progress". In *Environmental conservation*, vol 11, n°2
- Dresch, J., 1982.** Géographie des régions arides. Édit. PUF, Paris, 277 p.
- Dubief J. 1959 .**Le climat du Sahara. Inst. Rech. Sahara, mém. Algérie; I : 312 p. 1963 II (1) : 275 p.
- Ehleringer J. R., S. L. Phillips, W. F. S. Schuster, and D. R. Sandquist. 1991.** Differential utilization of summer rains by desert plants, implications for competition and climate change. *Oecologia* 88:430–434.
- El gasmi B. (1987).**Piémont du Haut Atlas de Midelt «Maroc» : phénomène de désertification et perspectives d'aménagement. Thèse de 3ème cycle, Univ. Paul Sabatier, Toulouse, 131 p. + annexes.
- Flanagan, L. B., J. R. Ehleringer, and J. D. Marshall. 1992.** Differential uptake of summer precipitation among co-occurring trees and shrubs in a pinyon–juniper woodland. *Plant, Cell and Environment* 15:831–836.

- Fleig A.K., Tallasse L.M., Hisdal H., Hannah D.M.(2011).**Regional hydrological drought in north-western Europe: linking a new Caractérisation des séquences de sécheresse météo rologique à diverses échelles de temps en climat de type soudanais : Cas de l'extrême Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire123 Regional Drought Area Index with weather types. *Hydrological Process* , 25 (7), 1163-1179.
- Francisco Mombiola.,2010** Les effets du changement climatique sur la sécurité alimentaire en Méditerranée Centre International des Hautes Études Agronomiques en Méditerranée (CIHEAM), Paris, p 255-259
- Gao JX, Chen YM, Lu SH, Feng CY, Chang XL, Ye SX, Liu JD., 2012.** A ground spectral model for estimating biomass at the peak of the growing season in Hulunbeier grassland, Inner Mongolia, China. *Int J Remote Sens* 33(13):4029–4043
- Gebauer, R. L. E., and J. R. Ehleringer.** 2000. Water and nitrogen uptake patterns following moisture pulses in a cold desert community. *Ecology* **81**:1415–1424.
- GIEC, 2002.** Les changements climatiques et la biodiversité.
- GIEC, 2007 :** Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, ..., 103 pages
- Haase, P., Pugnaire, F.I., Clark, S.C. y Incoll, L.D. 1999.** Environmental control of canopy dynamics and photosynthetic rate in the evergreen tussock grass *Stipa tenacissima*. *Plant Ecology* 145: 327-339.
- Halitim A., 1988.-** Sols des régions arides. OPU, Alger, 384p
- Hayes M.J., Svoboda M.D., Wilhite D.A., Vanyarkho O.V.(1999).** Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index *Bulletin of American*
- Hengeveld.H, 2008.** Questions fréquemment posées au sujet de la science du changement climatique » Environnement Canada.
- Hirche A. ; Boughani A. & Salamani M., 2007.-** Evolution de la pluviosité dans quelques stations arides algériennes. *Science et changement planétaire/Sécheresse*, Vol.18, N°4 314-20.
- Ibrahim K., Wan Zin W., Jemain A. (2010).**Evaluating the dry conditions in Peninsular Malaysia using bivariate copula. *A nziam Journal* , 51,pp. C555-C569.
- IDDDRI, 2009.** La Méditerranée au futur, des impacts du changement climatiques aux enjeux de l'adaptation, Rapports & briefing papers

- Jacobi J., D. Perrone D. (2013).** A tool for calculating the Palmer drought indices. *Water Resources Research*, 49 (9), 6086-6089.
- Jouilil I., Bitar K., Salama H., Amraoui., Mokssit A., Tahiri M. (2013).** Sécheresse météorologique au bassin hydraulique OUM ER RBIA
- Julien. R., Alexandre. M, Raphaël. B., 2008.** Gestion intégrée des zones côtières et adaptation au changement climatique en Méditerranée Institut du développement durable et des relations internationales (Iddri)
- Kogan, F. & Sullivan, J., 1993.** Development of Global Drought-Watch System Using NOAA/AVHRR Data. *Advances in Space Research*, 13-5, 219-222.
- Kogan, F.N., 1997.** Global Drought Watch from Space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78-4, 621-636.
- Lacoste L., 1955.** Répartition et conditions climatiques des nappes alluviales. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse 90 : 362-368.
- Lanquar R., 1995.** Tourisme et environnement en Méditerranée. *Economica*, Les fascicules du Plan Bleu, n° 8, 174 p.
- Le Houérou H. N., 1995.** Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique- Diversité biologique, développement durable et désertisation. *Options médit.*, 10: 1-397.
- Le Houérou H.N. (1990).** Recherches écoclimatiques et biogéographiques sur les zones arides de l'Afrique du Nord. Thèse de Doctorat d'État, Université Paul Valéry, Montpellier, 2 tomes (184 p. et 189 p.) + annexes (182 p).
- Le Houérou H-N. 1980.** L'impact de l'homme et des animaux sur la forêt méditerranéenne (1^e et 2^e partie). Forêt méditerranéenne. Tome II, n° 1 et 2.
- Le Houérou, H.N., 1969.** La végétation de la Tunisie steppique. *Ann. Inst. Natl. Agron. Tunis* 2(5): 1-624.
- Le Houérou, H.N., 1992.** Relations entre la variabilité des précipitations et celles des productions primaire et secondaire en zone arides. In : Le Floch, E., Gouzis, A., Cornet, A. & Bille, J-C. (eds), *L'aridité, une contrainte au développement*, pp. 197-220. ORSTOM, Paris.
- Le Houérou, H.N., 1996.** A probabilistic approach to assessing arid rangelands productivity carrying capacity and stocking rates. In : *International Workshop on Sustainable Use of Rangelands and Desertification Control*. Jeddah, 3-6 novembre 1996. pp : 1-19.
- Li A, Wu JG, Huang JH (2012)** Distinguishing between human-induced and climate-driven vegetation changes: a critical application of RESTREND in Inner Mongolia. *Landsc Ecol* 27(7):969–982
- Lin, G., S. L. Phillips, and J. R. Ehleringer.** 1996. Monsoonal precipitation responses of shrubs in a cold desert community on the Colorado Plateau. *Oecologia* 106:8–17.

- Ma WH, Fang JY, Yang YH, Mohammat A (2010)** Biomass carbon stocks and their changes in northern China's grasslands during 1982–2006. *Sci China Ser C* 53(7):841–850
- MATE, 2014.**Rapport national-Algérie - n°5/PNUD
- Mckee T.B., Doesken N.J., Kleist J. (1993).** The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scale. 8th Conference on Applied Climatology, 179-184.
- Ministère de l'Agriculture et du développement rural.1998-** Plan national d'action pour l'environnement. Rapport de synthèse. 15p.
- Mishra A.K., Singh V.P. (2010).** A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391, 202-216.
- Myneni RB, Keeling CD, Tucker CJ, Asrar G, Nemani RR(1997)** Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature* 386(6626):698–702
- Myoung B, Choi YS, Choi SJ, Park SK (2012)** Impact of vegetation on land-atmosphere coupling strength and its implication for desertification mitigation over East Asia. *J Geophys Res Atmos* 117:D12113.
- Nalbantis I., Tsakiris G. (2009).** Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23,881-897.
- Nedjraoui Dalila 2007.** Identification scientifique de l'interaction changements climatiques désertification : vulnérabilité des écosystèmes à la sécheresse et principes d'adaptation.
- Nedjraoui D.,2006.**–Profil fourrager de l'Algérie. FAO.<http://www.fao.org/ag/AGP/agpc/doc/Counprof/Algeria/Algerie.htm>
- Nicholson S (2005)** On the question of the “recovery” of the rains in the West African Sahel. *J Arid Environ* 63(3):615–641
- Niemeyer S. (2008).** New drought indices. *Water Management*, 80, 267-274. G.E. Soro et al./ *Larhyss Journal*, 18 (2014), 107-124
- Obassi, G.O., 1994.** WMO's Role in the International Decade for Natural Disaster Reduction. *Bulletin of American Meteorological Society*, **75-9**, 655-1661.
- OSS, 2008** .La surveillance à long terme en réseau circum-saharien : l'expérience Roselt/Ahmed Aïdoud. Collection Synthèse n° 3. _ OSS : Tunis, 2008. _ 100 pp.
- OSS, 2008.** Suivi-évaluation et lutte contre la désertification au Maghreb
- OSS, 2009.** « Indicateurs écologiques du Roselt/OSS désertification et biodiversité des écosystèmes circum-sahariens », Collection les notes introductives de l'OSS, n° 4

- OSS, 2009.** « Indicateurs écologiques du Roselt/OSS désertification et biodiversité des écosystèmes circum-sahariens », Collection les notes introductives de l'OSS, n° 4
- Palmer W. (1965).** Meteorological Drought. Research Paper No. 45, U.S.Department of Commerce Weather Bureau, 58p.
- Park, S., Feddema, J.J. & Egbert, S., 2004.** Impacts of hydrologic soil properties on drought detection with MODIS thermal data. *Remote Sensing of Environment*, **89**, 53-62.
- Pashiardis S., Michaelides S. (2008).** Implementation of the standardized precipitation index (SPI) and the reconnaissance drought index (RDI) for regional drought assessment: a case study for Cyprus. *European Water* 23/24, 57-65.
- Peng SS, Chen AP, Xu L, Cao C, Fang J, Myneni RB, Pinzon JE, Tucker CJ, Piao S (2011)** Recent change of vegetation growth trend in China. *Environ Res Lett* 6(4):044027
- Piao SL, Cui MD, Chen AP, Wang X, Ciais P, Liu J, Tang Y (2011)** Altitude and temperature dependence of change in the spring vegetation green-up date from 1982 to 2006 in the Qinghai Xizang Plateau. *Agr For Meteorol* 151(12):1599–1608
- Prince SD (1991)** Satellite remote sensing of primary production: comparison of results for Sahelian grasslands 1981–1988. *Int J Remote Sens* 12(6):1301–1311
- ROSELT/OSS Algérie. 2005.** Observatoire des Hautes Plaines Steppiques du Sud Oranais. Bilan final du projet. 135p.
- Schwinnig, S., B. I. Starr, and J. R. Ehleringer. 2003.** Dominant cold desert plants of the Colorado Plateau do not partition rain by rainfall size. *Oecologia* **136**:252–260
- Schwinnig, S., K. Davis, L. Richardson, and J. R. Ehleringer. 2002.** Deuterium enriched irrigation suggests three forms of pulse use in perennial species of the Colorado Plateau. *Oecologia* **130**:345–355.
- Seaquist JW, Hickler T, Eklundh L, Ardo J, Heumann BW (2008)** Disentangling the effects of climate and people on Sahel vegetation dynamics. *Biogeosciences* 5(4):3045–3067
- Seltzer P. 1946.** Le climat de l'Algérie. Alger : Carbonel,; 219 p.
- Shafer B.A., Edezman L.E. (1982).** Development of a surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. In: Proceedings of the Western Snow Conference. Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 164-175.
- Sharma T.C., PANU U.S. (2010)** Analytical procedures for weekly hydrological droughts: a case of Canadian rivers. *Hydrological Sciences Journal* , 55 (1), 79-92.

- Sternberg T, Tsolmon R, Middleton N, Thomas D (2011)**Tracking desertification on the Mongolian steppe throughNDVI and field-survey data. *Int J Digit Earth* 4(1):50–64
- Tirandaz M., Eslami A. (2012).** Zoning droughts and wetness trends innorth of Iran: A case study of Guilan province. *African Journal of Agricultural Research*, 7(15), 2320-2327.
- TL, Price JT, Hall KR, Schneider SH, Rosenzweig C,** (fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57–60.
- Valérie, Toureau.2015** le climat change la nature et l’agriculture aussi !INRA Science et impact, 25 p
- Van Grunderbeeck P., Tourre Y.M., 2008.** Bassin méditerranéen: changement climatique et impacts au cours du XXIe siècle. In : Thibault H.-L. et Quéfélec S. (ss dir.) : *Changement climatique et énergie en Méditerranée (partie I, chap. 1)*, 558 p., p.1.3-1.69
- Verbesselt J, Somers B, Lhermitte S, Jonckheere I, Van Aardt J,Coppin P (2007)** Monitoring herbaceous fuel moisture content with SPOT VEGETATION time-series for fire riskprediction in savanna ecosystems. *Remote Sens Environ* 108(4):357–368
- Vicente-Serrano S. M., Beguerias., Lopez-Moreno. J. I. (2010).**A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index –SPEI. *Journal of Climate*. 23 (7),1696-1718.
- Villevieille A., De Michel.B., 1997.** Les risques naturels en Méditerranée. Situation et perspectives. *Economica*, Les fascicules du Plan Bleu, n° 10, 157 p.
- Wang J, Brown D, Chen J (2013)** Drivers of the dynamics in net primary productivity across ecological zones on the Mongolian Plateau. *Lands c Ecol* 28(4):725–739
- Wilhite, D.A. & Glantz, M.H., 1985.** Understanding the Droughts Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, 10, 111-120.
- Woli P. Jones J.W., Ingram K.T., Fraisse C.W. (2012).** Agricultural reference index for drought. *Agronomy J ournal* ,104(2), 287-300.
- Xu L, Myneni RB, Chapin FS III, Callaghan TV, Pinzon JE,Tucker CJ, Zhu Z, troeve JC (2013)** Temperature and vegetation seasonality diminishment over northern lands.*Nat Clim Chang* 3(6):581–586

ISSN: 1857 - 7431 (Online)

ISSN: 1857 - 7881 (Print)

European Scientific Journal

April 2016

Vol. 12, No. 11

European Scientific Institute



Réflexions sur les variations pluviométriques de la région de Tiaret (Algérie occidentale) durant la période : 1984 - 2015

*Achir Mohammed
Hellal Benchaben*

Laboratoire de Géomatique et Développement Durable
Université Ibn Khaldoun de Tiaret -Algérie-

doi: 10.19044/esj.2016.v12n11p498 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n11p498](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n11p498)

Abstract

The analysis of rainfall is offered over a period of thirty-two years of measurement. This study based on the calculation of a number of indices has to account for the extreme variability of rainfall in the region of Tiaret (western Algeria). It also shows the severe and lasting climate of drought observed in this region from 1984 to 2002. It also highlights the return to a wet phase recorded from 2003 to 2014. The year 2015 has been quite deficient in rainfall. Is it the beginning of a new period of drought?

Keywords : Water deficit, rainfall indices , rainfall, climate drought, tiaret

Résumé

L'analyse de la pluviométrie est proposée sur une période de trente-deux ans de mesure. Cette étude qui s'appuie sur le calcul d'un certain nombre d'indices a permis de rendre compte de l'extrême variabilité des pluies dans la région de Tiaret (Algérie occidentale). Elle montre aussi le caractère sévère et durable de la sécheresse climatique observée dans cette région à partir de 1984 jusqu'à 2002. Elle met aussi en évidence, le retour vers une phase humide notée à partir de 2003 jusqu'à 2014. L'année 2015 s'est montrée plutôt déficitaire en pluviométrie. Serait-elle le début d'une nouvelle période de sécheresse ?

Mots clés : Déficit hydrique, indices pluviométriques, pluviométrie, sécheresse climatique,

Introduction

Le changement climatique est maintenant largement reconnu par la communauté scientifique (IPCC, 2013). Certaines études ont montré que ce

changement se traduit par une intensification des pluies et une succession des évènements extrêmes (New et al., 2001 ; Christensen et al., 2007).

La Rive Sud du bassin méditerranéen s'est caractérisée par la hausse des températures (Nouaceur et al., 2013 ; Donat et al., 2013). Des études menées ont suffisamment montré que la sécheresse a été toujours présente dans l'histoire des pays du Maghreb (Agoumi & al., 1999, Meddi, Meddi, 2009). L'Algérie a été touchée dans le passé par des périodes d'intenses sécheresses. L'Algérie, dont une bonne partie du territoire est dominée par un climat aride et semi-aride, a plus souffert de cette péjoration pluviométrique récurrente et persistante, aux conséquences souvent dramatiques sur les conditions socio-économiques, notamment rurale. Son impact négatif sur l'agriculture, l'alimentation de la nappe phréatique et le couvert végétal en constitue un des principaux aspects.

La région d'étude, rattachée administrativement à la wilaya de Tiaret, est enclavée entre l'atlas tellien et l'atlas saharien de l'Algérie occidentale. Les caractéristiques climatiques semblent à première vue disposer cette partie du territoire algérien à des épisodes de sécheresse. Le présent travail s'intéresse ainsi à l'analyse de la série pluviométrique 1984-2015 par la comparaison des calculs d'un certain nombre d'indices pouvant bien caractériser ses épisodes de sécheresse.

Présentation de la wilaya de Tiaret

La wilaya de Tiaret, située à l'ouest du pays, couvre une superficie de 20399,10 km² et s'étend sur une partie de l'Atlas tellien au Nord et sur les hauts plateaux au centre et au Sud. Elle est limitée par plusieurs wilayas à savoir (figure 1) :

- les Wilayas de Tissemsilet et Relizane au Nord ;
- Laghouat et El-Bayadh au Sud ;
- les Wilayas de Mascara et Saida à l'Ouest ;
- la Wilaya de Djelfa à l'Est.

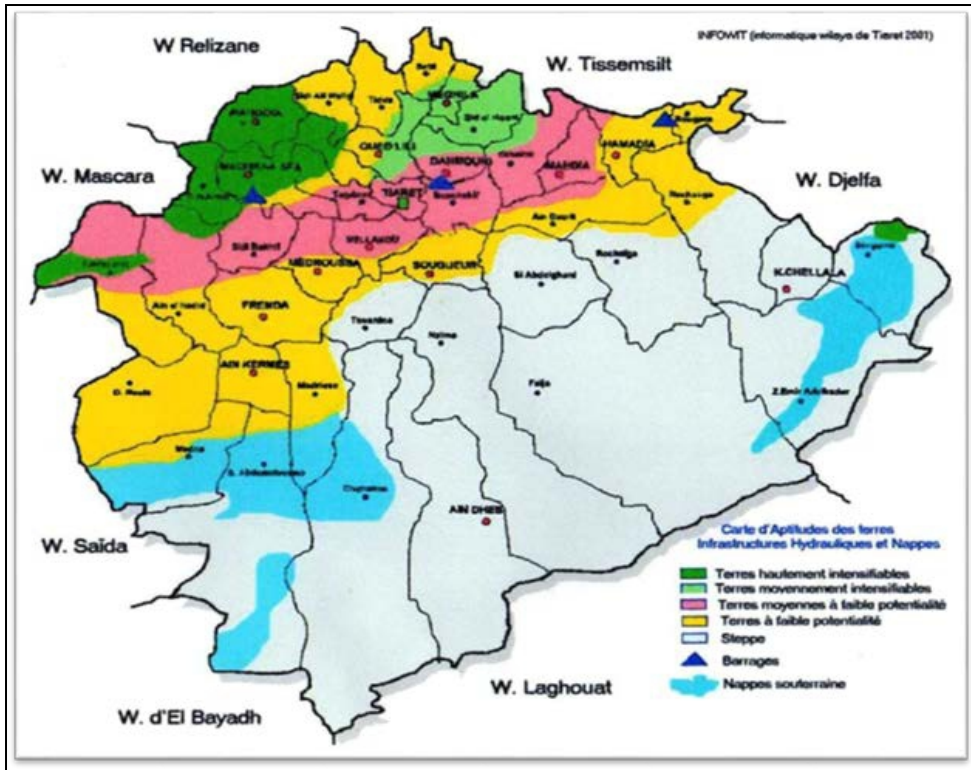


Figure 1 : carte géographique de la wilaya de Tiaret (Algérie occidentale)

Elle se trouve à 1150 m d'altitude, son climat se caractérise par 02 périodes à savoir : un hiver rigoureux et un été chaud et sec avec une température moyenne de 37,2°C. Un été chaud et sec avec une température moyenne de 24°C. En période normale la wilaya de Tiaret reçoit 300 à 400 mm de pluies par an, avec une fluctuation saisonnière de la pluviométrie allant de 157 mm en hiver à 31 mm en été. Elle appartient à l'étage bioclimatique semi-aride inférieur à hiver frais où le climat est du type méditerranéen.

Le relief qui est hétérogène, est matérialisé par :

- une zone de montage au Nord ;
- des hautes plaines au Centre ;
- des espaces semi-arides au Sud (68,44%).

La wilaya recèle d'importantes potentialités naturelles et notamment 1.609.900 Ha de terres agricoles, 142.966 Ha de zones steppiques et d'une zone forestière de 142.422 Ha. La superficie agricole totale est réparties à raison de 704.596 Ha agricoles utiles dont 14.561 Ha en irrigué et un million d'hectares en steppe, parcours, alfa et forêts. Elle est dominée par le système «céréales- élevage » dont l'intégration constitue l'essentiel de la production agricole et de la croissance économique.

Le milieu steppique est caractérisé par des altitudes élevées (1100 m en moyenne), les plus hautes steppes atteignent 1300 m et les plus basses oscillent entre 1000 et 1100 m, ce qui indique que les dénivellations sont peu importantes, soit moins de 200 m. Le substrat est à dominance calcaire. L'espace steppique est caractérisé par l'aridité du climat et la faiblesse des précipitations. Il est très sensible à la désertification où la couverture végétale est fortement dégradée.

Méthodologie

Pour analyser les valeurs extrêmes, nous utilisons les méthodes issues du calcul d'un certain nombre d'indices.

L'indice SPI « Standardized Precipitation Index » Il a été mis au point par l'université du Colorado en 1990. C'est un indice simple, puissant et souple à la fois, basé sur des données pluviométriques (McKee et al. 1993, 1995).

Il est exprimé mathématiquement (OMM, 2012) comme suit :

$$\text{SPI} = (\text{Pi} - \text{Pm})/\sigma$$

où :

SPI = Indice standardisé de précipitation ;

pi= Moyenne inter-annuelle (mm) ;

pm= Moyenne de la série (mm) ;

sigma = Ecart type de la série (mm).

L'intensité des évènements est évaluée selon la valeur de l'indice obtenu. L'indice SPI indique qu'une sécheresse débute quand sa valeur est inférieure ou égale à -1,0 et qu'une sécheresse se termine quand sa valeur devient positive.

L'indice de déficit pluviométrique(IDP) permet aussi de montrer et de calculer le nombre des années déficitaires et leur succession. Une année est qualifiée d'humide si cet indice est positif, de sèche lorsqu'il est négatif. Il s'exprime par la formule suivante :

$$\text{IDP} (\%) = ((\text{Pi} - \text{Pm})/\text{Pm}) \times 100$$

où :

IDP : Indice de déficit pluviométrique (en pourcentage) ;

Pi : précipitation annuelle (en mm) ;

Pm : précipitation moyenne (en mm).

L'Indice de pluviosité (Ip) est le rapport de la hauteur de précipitation d'une année à la hauteur moyenne annuelle de précipitation de la série. Il est exprimé par la formule suivante :

$$\text{Ip} = \text{Pi}/\text{Pm}$$

Une année est dite humide si ce rapport est supérieur à 1 et sèche s'il est inférieur à 1.

L'indice de sécheresse (IS) permet d'estimer le déficit pluviométrique annuel. Cet écart à la moyenne est la différence entre la hauteur des précipitations d'une année P_i et la hauteur moyenne annuelle de précipitations P de la série. La formule est :

$$IS = P_i - P$$

L'indice est positif pour les années humides et négatives pour les années sèches.

Résultats

Précipitations moyennes annuelles

L'analyse de la série pluviométrique montre nettement la variabilité interannuelle de la pluviométrie et sa tendance à la baisse, en plus d'une dispersion croissante dans le temps qui a pour origine la grande irrégularité des épisodes excédentaires et déficitaires (tableau 1).

Tableau 1 : Données pluviothermique de Tiaret (période 1984-2015)

Mois	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Pmm	39,9	39,9	35,1	35,9	28,2	11,8	3,4	9,4	33,0	31,3	42,8	35,5
T°C	6,1	7,0	9,5	11,9	16,3	21,9	26,3	26,1	21,3	16,6	10,6	7,3

La période 1984-2015 a enregistré des tranches pluviométriques en dessous de la moyenne (Pr moy = 342,6 mm) durant une quinzaine d'années ; les dix-sept autres étaient plus ou moins humides. Elle s'est caractérisée respectivement par une sécheresse légère à modérée et une humidité légère à modérée. Elle est marquée par une période sèche de sept mois, une température minimale de -3,2 °C et une température maximale de 37,2 °C.

Indices climatiques

Indice de précipitations standardisé

L'illustration graphique de l'indice de précipitations standardisé, à partir de la série 1984-2015, a permis de mettre en évidence deux périodes bien distinctes ; la première étant sèche tandis que la seconde est plutôt humide (figure 2).

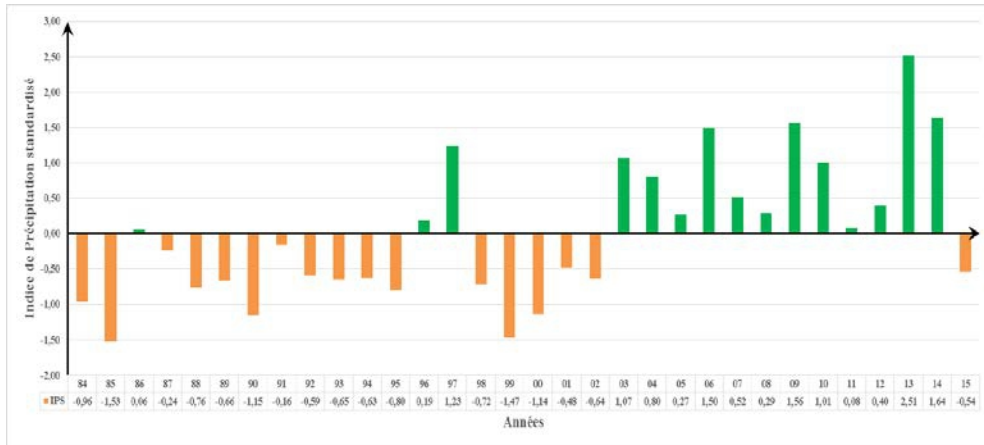


Figure 2 : Indice de Précipitations Standardisé (SPI) durant la période 1984-2015.

Les trente-deux années d’observation, de la série pluviométrique 1984-2015, sont réparties en années sèches et en années humides en tenant compte des valeurs de l’indice de précipitations standardisé (tableau 2).

Tableau 2 : Fréquences des années pluviométriques en fonction de l’Indice de Précipitations Standardisé (SPI)

Echelle SPI	Observation	Nombre d’années	Echelle SPI	Observation	Nombre d’années
$2 < SPI$	Humidité extrême	01	$0 < SPI < -0.99$	Sécheresse légère	13
$1.5 < SPI < 1.99$	Humidité sévère	03	$-1 < SPI < -1.49$	Sécheresse modérée	03
$1 < SPI < 1.49$	Humidité modérée	03	$-1.5 < SPI < -1.99$	Sécheresse sévère	01
$0 < SPI < 0.99$	Humidité légère	08	$SPI < -2$	Sécheresse extrême	00

La série pluviométrique 1984-2015 est caractérisée par treize années de sécheresse légère et huit ans d’humidité légère. L’année 1985 a connu une sécheresse sévère (Pmm = 153,4 mm) et l’année 2013 s’est manifestée par une humidité extrême avec une pluviométrie de 662,2 mm. La série a aussi connu trois années chacune de sécheresse et d’humidité sévères. Il est à noter que la période 1984-2015 n’a pas connue de sécheresse extrême.

L’indice de déficit pluviométrique

L’indice de déficit pluviométrique a permis d’estimer la variation ponctuelle des précipitations par rapport à la normale. Le déficit le plus important enregistré durant toute la période d’observation est de – 55,7% (figure 3 a). Le déficit pluviométrique est plus important, en nombre d’années successives, de 1984 à 1985, de 1987 à 1995 et de 1998 à 2002. La première phase de déficit pluviométrique s’est étalée sur neuf ans avec un

taux maximal de – 41,8%. La seconde phase est marquée par cinq années de déficit pluviométrique et un taux maximal de – 53,5%. L’excès pluviométrique, pour cette série 1984-2002 est observé en 1986, 1996 et 1997 avec respectivement 02%, 07% et 44,8% (figure3 b).

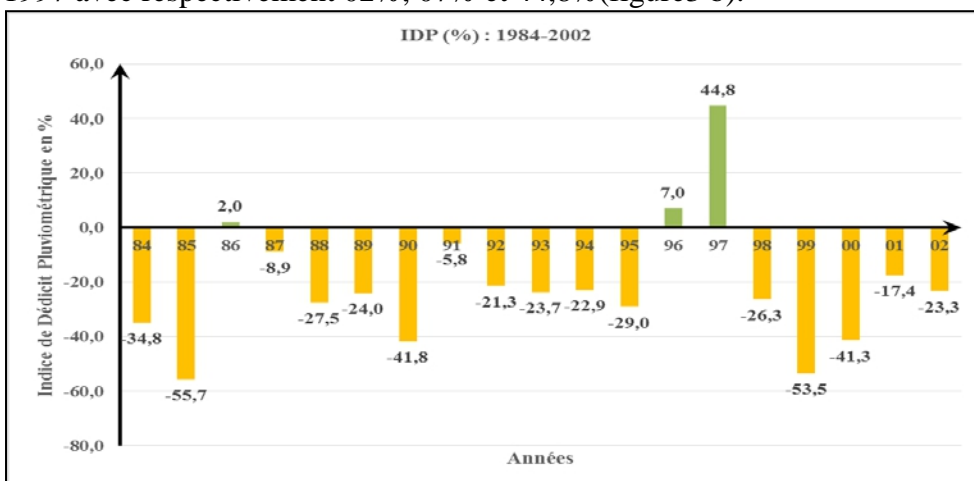


Figure 3 a : Indice de Déficit Pluviométrique (IDP %) durant la période 1984-2002.

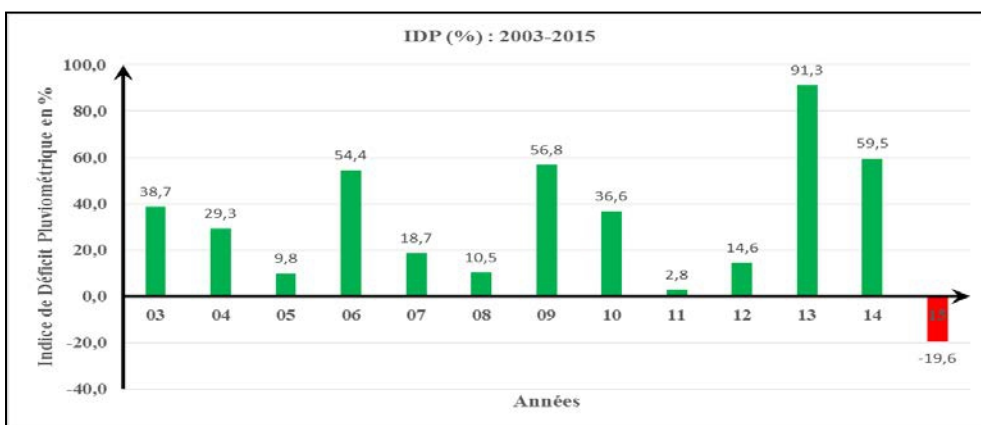


Figure 3 b : Indice de Déficit Pluviométrique (IDP %) durant la période 2003-2015.

Les treize dernières années de la série 1984-2015 se sont caractérisées par un excès pluviométrique maximal de 91,3% en 2013 (figure3 b); l’année 2014 a totalisé un taux de 59,5%. L’excès pluviométrique s’est répandu sur toute la période d’observation mis à part l’année 2015 qui a enregistré un déficit pluviométrique de – 19,6%.

Les années humides, au nombre de douze, se sont réparties en deux groupes. Le premier groupe est formé de quatre années avec un excès pluviométrique de plus de 50% ; le deuxième s’est étalé sur huit ans avec des taux allant de 2,8% à 38,7%(figure3 b).

Indice de pluviosité

Le graphique de l'évolution de l'indice de pluviosité a permis de constater que les épisodes de sécheresse de 1984 à 1995 et de 1998 à 2002 sont d'une intensité allant de légère à modérée (figure 4). La succession des années humides ont fait suite à celle des années sèches depuis 2003 jusqu'à 2014.

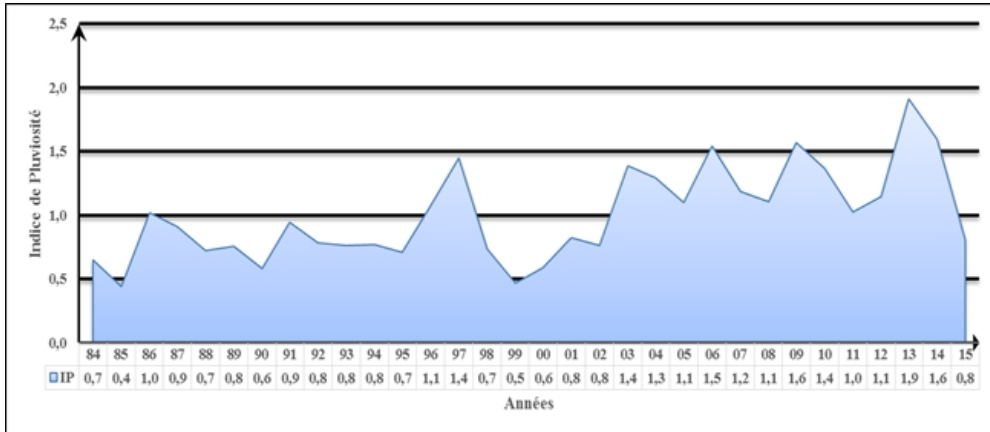


Figure 4 : Indice de Pluviosité (IP) durant la période 1984-2015.

Indice de sécheresse

La détermination du niveau de sévérité des sécheresses vécues est effectuée par le calcul de l'indice de l'écart à la moyenne. L'analyse de la figure 5 a rendu encore possible la confirmation d'une sécheresse légère à modérée observée dans la série pluviométrique 1984-2015.

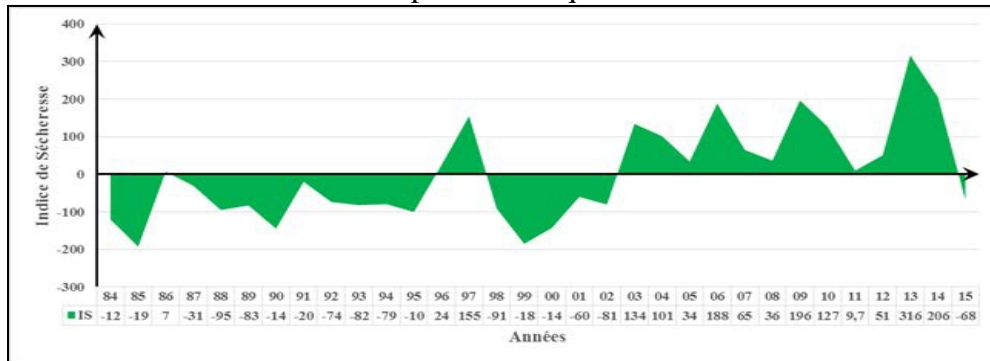


Figure 5 : Indice de Sécheresse durant la période 1984-2015.

Les épisodes de sécheresse sont de plus en plus longues où elles s'étalent sur neuf à dix années consécutives. La répétition des années sèches s'est accélérée et la longévité de la période sèche également.

Discussion

Les conditions climatiques de l'Algérie du Nord se caractérisent par des pluies concentrées sur la saison fraîche à jours courts avec de longues sécheresses estivales (Seltzer, 1946 ; Emberger, 1955). Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat (Le Houerou et *al.*, 1977).

En écosystème steppique, défini comme la portion du territoire national délimité au Nord par l'isohyète 400 mm et au Sud par l'isohyète 100 mm, les fluctuations des précipitations sont sévères. Certaines années sont très déficitaires en pluviométries tandis que d'autres sont humides.

L'analyse des précipitations, par des indices, a montré, qu'après les déficits pluviométriques de la période 1984-1995, une phase beaucoup plus humide est en train de se manifester. Les signes de changements se sont apparues dans la production céréalière enregistrée entre 2003 et 2014. L'alternance brutale des années sèches et humides, observée au sahel, a tendance à s'installer dans les pays du Maghreb dont l'Algérie (Abdou, 2010 ; Dieppois et *al.*, 2010 ; Nouaceur et *al.*, 2013).

Les résultats obtenus pour la région de Tiaret de l'Algérie occidentale ont mis en évidence en plus des deux périodes caractéristiques sèches (1984-2002) et humides (2003-2014), des courtes périodes pluviométriques excédentaires ou déficitaires sur la série pluviométrique 1984-2015. Les épisodes de sécheresse de 1984 et 1995 sont aussi observés dans la steppe du Sud de Tlemcen (Benabadji et Bouazza, 2000).

L'évolution des pluies est marquée de particularités bien distinctes. L'analyse des données climatiques enregistrées sur trente-deux années montre l'amorce de nouvelles conditions pluviométriques en opposition avec les périodes de sécheresse passées (Nouaceur, 2011). Cette constatation va dans le sens d'une augmentation de la fréquence des pluies intenses qui ont vraisemblablement un effet moindre sur la recharge des nappes phréatiques que sur l'amplification du ruissellement sur les versants, des crues et des inondations (Medjerab, 2007).

Conclusion

Les résultats des analyses pluviométriques effectuées montrent que la région Tiaret (Algérie occidentale) est passée par des épisodes de sécheresse et d'humidité. Cette étude qui s'appuie sur le calcul d'un certain nombre d'indices a permis de se rendre compte de l'extrême variabilité des pluies. Elle a montré aussi le caractère sévère et durable de la sécheresse climatique observée dans cette région de 1984 à 2002. Elle a mis aussi en évidence, le retour vers un épisode humide de 2003 à 2014.

References:

- Abdou A. 2010. Variabilité et changements du climat au Sahel : ce que l'observation nous apprend sur la situation actuelle. Grain de Sel 2010 ; 49 : 13-14.
- Agoumi, A, Senoussi S, Yacoubi M, Fakhredine A, Sayouti E.H, Mokssit A et Chikri N. 1999. Changements climatiques et ressources en eau. Hydrogéologie Appliquée, vol. 12, n° 11, 163-182.
- Ayache A, Ayad N, Hellal B, Benhanifia K et Gacemi M.A. 2015. Study of the temporal evolution of land use in the steppe south of Tlemcen province for the period 1987 and 2010 using remote sensing and GIS technique (Western Algeria). International Journal of Remote Sensing & Geoscience (IJRSG), Volume 4, Issue 4: 28-34.
- Ayad N, Hellal B et Maatoug M'H. 2007. Dynamique des peuplements d'*Artemisia herba-alba* Asso dans la steppe du Sud oranais (Algérie occidentale). Revue Sécheresse, 18 (3) : 193 – 8.
- Benabadji N. et Bouazza M. 2000. Contribution à une étude bioclimatique de la steppe à *Artemisia herba-alba* Asso dans l'Oranie (Algérie occidentale). Sécheresse. Vol 11, N° 2, 117-23.
- CFT., 2014 -Conservation des forêts de la Wilaya de TIARET- Service de cartographie et Service des statistiques.
- Christensen JH, Hewitson B, Busuioac A, Chen A, Gao X, Held I et al., 2007. Regional Climate Projections. In : Climate Change 2007: The physical Sciences Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M and HL Miller (eds.) Cambridge University Press : Cambridge, New York, 847-940.
- Dieppois B, Durand A, Fournier M, Massei N et Hassane B. 2010. Relations entre la pluviométrie au Sahel et divers indices climatiques sur l'Atlantique : exemple de la station de Maïnesoroa (Niger) entre 1950 et 2005. Actes du XXIII^{ème} colloque international de climatologie, Rennes.
- Donat M.G, Peterson T.C, Brunet M, King A.D, Almazroui M et Kolli R.K. 2013. Changes in extreme temperature and precipitation in the arab region: long-term trends and variability related to ENSO and NAO. International Journal of Climatology, DOI: 10.1002/joc.3707.
- DSA., 2014 -Direction des Services Agricoles, Wilaya de TIARET- Service des statistiques.
- Emberger L. 1955. Une classification biogéographique des climats. Trav. Lab. Bot. Zool. Fac. Sci.Serv. Montpellier 7, p 3-43.
- Hellal B, Ayad N, Maatoug M'H et Boularas M. 2007. Influence du fatras sur la biomasse foliaire de l'alfa (*Stipa tenacissima* L) des hautes plaines steppiques du sud Oranais (Algérie occidentale). Revue Sécheresse ; 18 (1) : 65 – 71.

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) GIEC. 2013. Changements climatiques en 2013, Les éléments scientifiques, résumé à l'intention des décideurs, service d'appui technique du groupe de travail I GTI,
- Le-Houerou H.N, Claudin J et Pouget M. 1977. Etude bioclimatique des steppes algériennes avec une carte bioclimatique au 1/1000.000. Bull. Soc. Hist. Nat. Afri. Nord. 36-40.
- Mckee T.B, Doesken N.J and Kleist J. 1995. Drought Monitoring with Multiple Times Scales. American Meteorological Society, 9th Conference on Applied Climatology, 15-22 Janvier, Dallas, TX, pp. 233-236.
- MCKee T.B, Doesken N.J and Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, California, 179–184.
- Meddi H et Meddi M. 2009. Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. Sécheresse, vol. 20, n° 1, 57-65.
- MEDJERAB A. 2007. Les situations pluviométriques extrêmes dans le nord-ouest de l'Algérie. In : Climat, tourisme, environnement, Actes du XXème colloque de l'Association Internationale de Climatologie (Carthage, Tunisie), H. BEN BOUBAKER édit., 381-386.
- Nouaceur Z, Laignel B, Turki I., 2013 : Changements climatiques au Maghreb : vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien ? *Physio-Géo*, Volume 7,
- Nouaceur Z. 2011. Vers un retour des pluies sur la rive-Sud du Bassin méditerranéen occidental : analyse et évaluation de la tendance pluviométrique sur plus d'un demi-siècle. *The Annals of Valahia University of Targoviste, Romania, Geographical Series* 11: 32-6.
- New M, Todd M, Hulme M and Jones P. 2001. Precipitation measurements and trends in the twentieth century. *International Journal of Climatology*, 21(15), 1889-1922.
- O.M.M. 2012, Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé, OMM n° 1090.